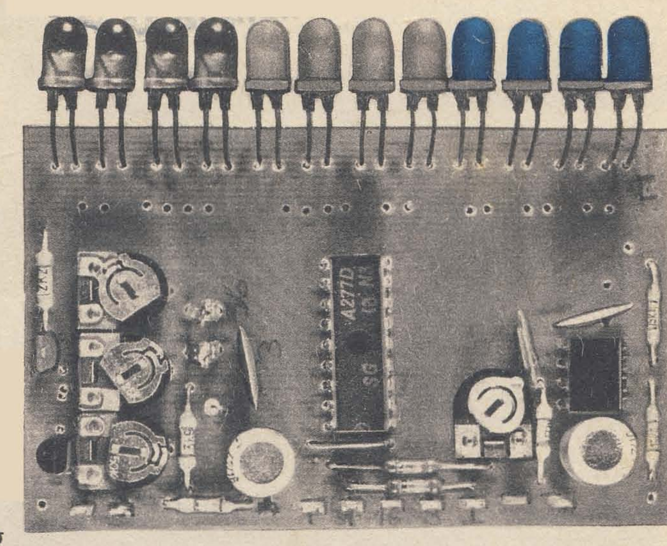
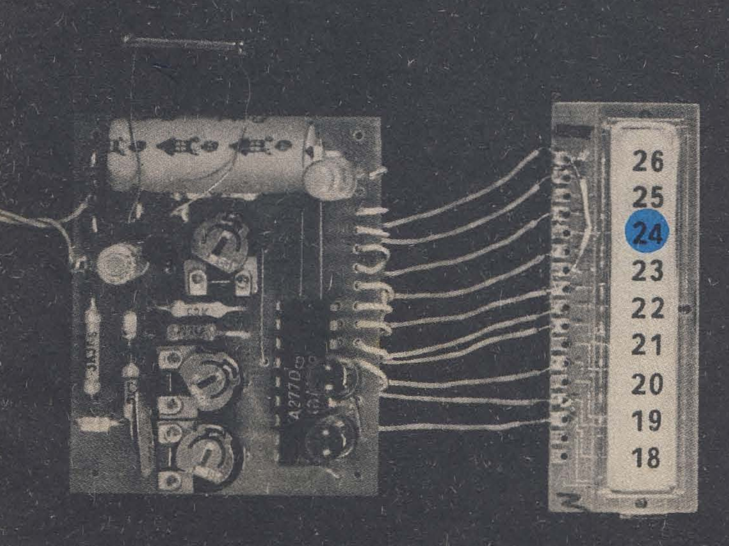




Bauplan 53
Preis 1,– M

Klaus Schlenzig

Elektronische Leuchtanzeigen





Inhalt

1. Einleitung

Mikroelektronische Bauelemente ermöglichen zunehmend eine optimale Lösung von unterschiedlichsten Aufgaben. Darüber hinaus tauchen fast täglich sozusagen Lösungsangebote für Probleme auf, die bis dahin noch gar nicht formuliert worden sind.

Auch der Amateur sieht sich heute einer Fülle neuer oder ihm gerade erst zugänglich gewordener Schaltkreise gegenüber, die durchaus nicht nur auf einen oder wenige Einsatzfälle festgeschrieben sind. Phantasie und Sachkenntnis treten immer dann in Wechselwirkung, wenn der Handel Neues dazu bietet. Mit dem Ansteuerschaltkreis A 277 D entstanden für den Bauplan einige Objekte, die teils als nützliche Gebrauchsgegenstände anzusehen sind, teils aber auch wieder einen »spielerischen« Aspekt haben. Spielen mit Elektronik bedeutet nichts Negatives, denn Spielen heißt meist auch Lernen. Warum also soll man einen A 277 D (in diesem Sinne) neben seiner Hauptaufgabe nicht auch einmal zum Piepsen bringen? Ebenso läßt sich gegen Lichteffekte ohne Bindung an einen vordergründigen Nutzen kaum etwas einwenden, solange die umgesetzte elektrische Leistung einstellige »Wattbeträge« nicht übersteigt!

Unbedingt nützlich dagegen dürfte es sein, daß die Mikroelektronik nun dazu verholfen hat, daß wenige Windungen dünnen Kupferdrahtes zu einem linearen Temperatursensor kleiner Ansprechträgheit und geringer Masse werden können, mit dem sich sowohl Körper- wie Bauelementetemperaturen recht zuverlässig und schnell messen lassen. Dem Autor sei es darum erlaubt, daß er diesen Sensor nicht nur in Verbindung mit dem Zentralobjekt des vorliegenden Bauplans (eben dem A 277 D) beschreibt. Seine weit größeren schaltungstechnischen Möglichkeiten zeigen sich eigentlich erst in Verbindung mit anderen Mikroelektronik-Produkten.

Selbstverständlich sind neben den zum Bau empfohlenen Schaltungen auch die wichtigsten Herstellerinformationen zum A 277 D im vorliegenden Bauplan enthalten, und auch die nachbaugerecht entwickelten Leiterplatten werden parallel zum Bauplan als »typofix-electronic-special«-Folie zu haben sein.

2. Möglichkeiten der Anzeige von Ereignissen

Für die optische Anzeige von elektrischen Spannungen – sie können die unterschiedlichsten Ereignisse abbilden – stehen heute hauptsächlich 3 Verfahren zur Auswahl:
- »klassisches« Zeigerinstrument (Analogvoltmeter),
- Ziffernanzeige hinter einem AD-Wandler (Digitalvoltmeter),
- »quasi-analoge« Punkt- oder Bandanzeige (LED-Zeile).

Jede Methode hat bestimmte Eigenschaften, die sie für eine spezielle Gruppe von Anwendungsfällen besonders geeignet erscheinen lassen.

Zeigerinstrumente geben im Rahmen ihrer typabhängigen Genauigkeit jeden Zwischenwert der angelegten Spannung wieder. Die begrenzte Skalenauflösung verhindert es allerdings, beim Ablesen beliebig fein gestuft zu unterscheiden. Drehspulinstrumente – das ist die am meisten benutzte Gruppe von

Zeigerinstrumenten – zeigen im Grunde auch nicht die Spannung an, sondern die Wirkung des von der Spannung durch den Kupferwiderstand der Spule und (meist) den zur Bereichsanpassung vorgeschalteten ohmschen Widerstand getriebenen Stroms. Daher haben beispielsweise temperaturbedingte Widerstandsänderungen der Drehspule auch Änderungen der Anzeige bei gleicher anliegender Spannung zur Folge – sofern der Drehspulwiderstand einen wesentlichen Anteil am gesamten Kreiswiderstand hat und wenn im Instrument keine Maßnahmen zur Temperaturkompensation enthalten sind.

Drehspulinstrumente haben außerdem eine gewisse typabhängige Trägheit der Anzeige. Sie folgen damit zwar einer Änderung der angelegten Spannung kontinuierlich, jedoch stets etwas verzögert. Kurze Spitzen werden unterdrückt. Schließlich benötigen auch extrem empfindliche Drehspulmeßwerke Ströme im Mikroamperebereich. Gebräuchliche Vielfachmesser erreichen Stromdämmungen zwischen 20 und 100 kΩ/V und brauchen damit zwischen 50 und 10 µA für Vollausschlag. Hält man diesen Eigenschaften die eines modernen Digitalvoltmeters entgegen, so besticht dieses u. a. durch:
- hohen Eingangswiderstand (üblich sind 10 MΩ, unabhängig vom Spannungsbereich);
- vom Schaltungsaufwand abhängige hohe Genauigkeit,
- von der Zahl der Stellen (und vom Schaltungsaufwand) abhängige hohe Auflösung (Mikrovolt sind heute nicht »unüblich«!).

Auf Grund des benutzten Meßverfahrens braucht ein Digitalvoltmeter jedoch eine endliche Zeit, um den wirklichen Wert der angelegten Spannung als Meßwert auszugeben. Damit ist auch ein Digitalvoltmeter »träge«. Allerdings lassen sich z. B. Spitzenwerte einer Meßspannung »einfrieren« und anzeigen, aber dann eben auf Kosten der aktuellen Information. So zieht der Praktiker z. B. bei Abgleicharbeiten als Extremwertindikator ein Zeigerinstrument vor.

Moderne Operationsverstärker als Vorsätze zu Drehspulmeßwerken haben dabei inzwischen längst die »Strombedarfs-Barriere« durchbrochen, die dem Einsatz von Zeigerinstrumenten oft im Wege stand. Im Grunde unterscheiden sich damit die Eingangsteile analoger und digitaler Multimeter nur noch wenig, wenn der Kern des digitalen Konkurrenten ein AD-Wandler mit begrenztem Eingangswiderstand ist wie etwa der jetzt dem Amateur ebenfalls verfügbare C 520 D. Beiden Geräten gemeinsam sind einige arbeitsintensive Teile, die ihre Preise haben. Ein gutes Drehspulmeßwerk und eine Großsicht-Lichtschachtanzeige sind derzeit ebenso teuer. Um so leichter fällt die Entscheidung, sie durch anderes zu ersetzen, wenn es erzielte Wirkung und Nutzen rechtfertigen. »Anderes« sind »Quasi-Analog«-Anzeigen, repräsentiert durch Leuchtdioden, als Punkt- oder Bandinformation angeordnet, angesteuert durch einen speziell für diesen Zweck entwickelten Schaltkreis. Das aber ist der Ansteuerschaltkreis A 277 D.

3. Ansteuerschaltkreis A 277 D

Der A 277 D bietet optisch sinnfällige Anzeigen von Analogsignalen mit »Thermometer«- oder »Zeiger«-Effekt. Je nach Beschaltung wird die Signalamplitude bzw. der Gleichspannungswert über die angeschlossenen Leuchtdioden als leuchtende Punktkette (»Band«) bestimmter Länge oder als leuchtender Punkt bestimmter Lage angezeigt. Seine besondere Eignung auch für Spannungen schnell wechselnder Amplitude (solange die Augenträgheit dem nicht eine Grenze setzt!) sei dabei besonders hervorgehoben. So ist der A 277 D heute »die« Lösung für praktisch trägheitslose Aussteuerungsanzeigen – trägheitslos allerdings nur für sich allein. Die zur Aufbereitung des anzuzeigenden Signals nötige Schaltung kann durchaus wieder (systembedingte) Zeitkonstanten aufweisen. Doch alles, was z. B. sonst noch ein Zeigerinstrument mit seiner mechanischen Masse an »Nichtinformation« einbrachte, fällt mit Einsatz des A 277 D weg. Dafür wird die Information zwangsläufig gequantelt, so daß man auch bei fließendem Übergang von Punkt zu Punkt (betriebsabhängig) von keiner echten Analoganzeige sprechen kann. Der A 277 D benötigt für die Wanderung seines Leuchtpunktes von der ersten bis zur zwölften Leuchtdiode einen Mindestspannungshub von 1,4 V; bei Bandbetrieb genügen sogar 1,2 V. (Exakt wird für die am Schaltkreis einstellbaren Referenzspannungen dieser Mindesthub vorgeschrieben; der Eingangsspannungshub ist dann etwas kleiner.) Je größer der Hub, um so weniger »fließend« wird der Übergang von Diode zu Diode beim Ändern der Steuerspannung. Der Hub wird durch die an die Anschlüsse 3 und 16 angelegten Referenzspannungen bestimmt. Die maximale zulässige Spannung sowohl für den Steuereingang wie für die Referenzeingänge entspricht der Betriebsspannung U_S. Bei entsprechend hoher U_S liegt der nutzbare Arbeitsbereich der Eingangsspannungen zwischen 0 und 6,2 V.

Der A 277 D braucht eine Betriebsspannung von wenigstens 5,5 V für Punkt- und 10,5 V für Bandanzeigebetrieb. Die maximal zulässige Betriebsspannung beträgt 18 V (Tabelle 1.). Ohne Anzeige

werden dabei typisch 4,5 mA, höchstens aber 10 mA aufgenommen. Maximal 12 Leuchtdioden können an 2 × 6 nebeneinanderliegende Ausgänge (Bild 1) angeschlossen werden – ohne jeden Vorwiderstand, denn der Schaltkreis liefert konstante Ströme: je Ausgang etwa 10 mA. Nur wenn Anschluß 2 einen Widerstand nach Masse erhält und wenn vielleicht außerdem noch gegen Plus z. B. ein Fototransistor eingefügt wird, ändert sich das (Bild 2). Abhängig von der Außenhelligkeit werden dann zwischen 0 mA (nicht ganz 0, dafür sorgt der Widerstand parallel zum Fototransistor) und etwa 20 mA geliefert. Je dunkler es ist, um so schwächer leuchten dann die Dioden. Schließt man nur einen Stellwiderstand gegen Masse an, so ergibt Widerstandswert Null auch »Helligkeit Null«. Hier kann also auch von Hand eingegriffen werden.

Neben den Betriebsspannungsanschlüssen (1 Minus, Masse; 18 Plus) gibt es, wie bereits angedeutet, 3 Beeinflussungsmöglichkeiten von außen: 16 für minimale und 3 für maximale Referenzspannung, 17 für die Steuerspannung. Wenn die 3 Anschlüsse entsprechend beschaltet werden, arbeitet der A 277 D in folgender Weise: Zwischen 3 und 16 wirkt die Differenz $U_{rmax} - U_{rmin}$ der beiden angelegten Bezugsspannungen, die man auch als U_3 und U_{16} bezeichnet. Sie kann maximal 6,2 V sein und, wie bereits gesagt, bei Punktbetrieb einen Minimalwert von 1,4 V haben. Bei Bandbetrieb genügen 1,2 V [1]. Legt man nun an Anschluß 17 eine Spannung U_{st}, auch U_{17} genannt, an (unterhalb Betriebsspannung, Arbeitsbereich aber wieder nur bis 6,2 V), so wird diese im Schaltkreis über eine Kette von Komparatoren mit den an einer Widerstandskette stehenden Teilspannungen der Referenzspannungsdifferenz verglichen. Es leuchtet nun die Diode, deren Stellennummer aus folgender Gleichung hervorgeht [1] (ohne Stellen hinter dem Komma): $n = 13 \frac{U_{st} - U_{rmin}}{U_{rmax} - U_{rmin}}$ · Beispiel: $U_{rmax} = 4$ V, $U_{rmin} = 1{,}6$ V. $U_{rmax} - U_{rmin} = 2{,}4$ V; $U_{st} = 3{,}0$ V, $n = 7{,}58$ – es leuchtet Diode Nr. 7. Die Realität stimmt mit dieser Gleichung um so besser überein, je größer die Differenz der Referenzspannungen ist. Angezeigt werden bei der Einstellung dieses Beispiels Spannungen zwischen (etwa) 1,8 und 3,8 V in Sprüngen von etwa 185 mV.

Der Übergang ist dabei nicht ganz hart; es können also auch 2 nebeneinanderliegende Dioden gleichzeitig leuchten. Die größte (zulässige – für einwandfreien Betrieb) Auflösung erhält man also für $U_{rmax} - U_{rmin} = 1{,}2$ V bzw. 1,4 V (s. o.). Das sind Sprünge von nur etwa 100 mV. Da U_{rmin} auch 0 sein darf, kann man auf solche Weise z. B. die Spannung einer Monozelle bereits recht genau kontrollieren.

Bevor die erste Diode (sie liegt an Anschluß 15) leuchtet, muß U_{st} die minimale Referenzspannung um einen gewissen Betrag übersteigen. Für große Differenzen zwischen U_{rmax} und U_{rmin} kann man für die Differenz von U_{stmin} und U_{rmin} recht genau mit der Stufenspannung rechnen, die jeweils für das Aufleuchten der nächsten Diode gebraucht wird. Im Beispiel mit $U_{rmin} = 1{,}6$ V und $\Delta U_{st} \approx 2$ V ergibt sich der Stufenwert wegen $U_{stufe} = \frac{\Delta U_{st}}{11}$ zu 185 mV. (U_{st} als »Steuerspannung« nicht mit »Stufenspannung« verwechseln!) Sehr wichtig für den vielseitigen Einsatz des A 277 D ist die Tatsache, daß die 3 Eingänge nur maximal 2 µA Eingangsstrom benötigen (Darlington-pnp-Transistoren mit Stromquellen im Emitterzweig), typisch jedoch nur Ströme im unteren Nanoamperebereich. Die zu überwachenden Quellen (z. B. die Abstimmspannung von Kapazitätsdioden im Rundfunkempfänger) werden also kaum belastet. So kommt man auch mit recht hochohmigen Spannungsteilern (empfohlener Teilerstrom um 100 µA) sehr gut aus.

Die sparsamste Beschaltung ergibt sich gemäß Bild 3. Die Steuerspannung wird entsprechend vorgeteilt, so daß ihr Größtwert die Referenzspannung des Teilers nicht überschreitet. (Bei Betriebsspannungen bis 9 V sollen U_3 und U_{17} wenigstens 3 V unter der Betriebsspannung bleiben. In diesem Bereich der Betriebsspannung müssen die maximale Referenzspannung und die Steuerspannung also noch unterhalb des sonst zulässigen Wertes von 6,2 V bleiben!) Bild 3 zeigt eine Beschaltung für Punktbetrieb. Das heißt: Von der an 15 angeschlossenen Diode beginnend, wandert der leuchtende Punkt mit wachsender Steuerspannung immer weiter bis zur an 4 angeschlossenen Diode, wo er auch bei weiterem Erhöhen der Steuerspannung bleibt. Keine Steuerspannung (was aber einen Widerstand nach Masse bedeutet, sonst »sieht« der Stromeingang gewissermaßen eine hohe Spannung) heißt, daß alle Dioden dunkel sind.

Ein Leuchtband mit wachsender Länge bei steigender Steuerspannung bildet sich aus, wenn nach Bild 4 beschaltet wird. Der Schaltkreis »erkennt« gewissermaßen die Absicht des Bandbetriebs, die mit dieser Beschaltung mitgeteilt wird, indem er die Spannung zwischen den Anschlüssen 14 und 15 auswertet. Mehr als 1,3 V (bedingt durch die dann »querliegende« Leuchtdiode) führt automatisch zur Betriebsart Bandbetrieb. Schon ab 0,9 V beginnt aber ein Übergangsbereich, der den Schaltkreis »unsicher« macht. Wenn also in Punktbeschaltung die erste Leuchtdiode eine rote ist ($U_F \approx 1{,}7$ V) und die folgende eine gelbe ($U_F \approx 2{,}6$ V), so ist Anschluß 15 um 0,9 V positiver als Anschluß 14. Das wertet der A 277 D unter Umständen schon als Bandbetrieb und schaltet intern den zum Ende jeder der 3 LED-Ketten bei Bandbetrieb gehörenden Ausgang nicht wieder ab, wenn die Steuerspannung einen entsprechenden Wert angenommen hat. In solchem Falle hilft eine Diode in Serie zur roten Leuchtdiode (Bild 5).

Man beachte: Im Punktbetrieb können bei Bedarf auch Schaltkreisausgänge offengelassen werden, wenn man mit weniger Dioden arbeiten will; siehe jedoch Einschränkung unter 12.1. (Beispiel: nur Anzeige von Extremwerten.) Sie lassen sich aber auch zusammenschalten, so daß dann eine Leuchtdiode für mehrere Ausgänge anzeigt. Bei Bandskalen, die kürzer als 12 Dioden sind, müssen die weggelassenen Dioden durch Kurzschlüsse ersetzt werden. Vernünftiger Einsatz mit zuverlässigen Ergebnissen setzt voraus, daß man die Referenzspannungen stabilisiert. Wird allerdings der Referenzteiler von der (unstabilisierten) Betriebsspannung ebenso »geführt« wie die Signalgröße (z. B. weil sie aus einem Widerstandsgeber kommt), so braucht man nicht zu stabilisieren. Solche Fälle kommen z. B. im Kfz vor, einem der Haupteinsatzgebiete des A 277 D. Schließlich empfiehlt es sich, wenn stärkere Fremdspannungseinkopplungen möglich sind, die für solche »empfänglichen«, weil hochohmigen Eingänge mit 47- bis 100-nF-Keramikkondensatoren gegen Masse zu beschalten. Ein Brumm einspeisender Finger z. B. vermag unter Umständen unerwünscht bei Punktbetrieb mehrere Dioden gleichzeitig leuchten zu lassen.

4. Einfaches Zimmer- (Fern-) Thermometer mit Heißleiter

Zum »Einarbeiten« in den A 277 D und seine zahlreichen Einsatzmöglichkeiten wird als erstes Beispiel ein einfaches Fernthermometer beschrieben (Bild 6a): »Durch eine Wand hindurch« kann die Temperatur im Nachbarraum innerhalb des zu erwartenden Zimmertemperaturbereichs per Knopfdruck oder ständig angezeigt werden. Andere Einsatzfälle und Temperaturbereiche sind möglich, Grenzwerte lassen sich durch Zusatzbeschaltung auch akustisch signalisieren. Das Thermometer löst bei entsprechendem Abgleich noch in etwa 1-K-Sprüngen auf, wenn man zwischen etwa 16 °C (unterster Anzeigepunkt) und 27 °C (als Maximum) erkennen will, siehe Bild 6b. In solch kleinem Bereich ergibt die nichtlineare Thermistorkennlinie noch tragbar kleine Verfälschungen, wenn Vergleichsspannungen und Meßstrom mit 2 Z-Dioden und einem pnp-Transistor stabilisiert werden. Der Effekt ist dafür »augenfällig«, auch bei kleiner Raumhelligkeit. Der tatsächliche Heißleiterwiderstand bei 20 °C bestimmt den Emitterwiderstand des »Stromgenerator«-Transistors; die Teilerwiderstände legen die beiden Referenzspannungswerte fest. Das sind die 3 Punkte, an denen bei Bedarf korrigiert werden kann. Bei Knopfdruck-Abfrage ist Batteriebetrieb möglich, für Dauereinsatz richtet man die Spannung eines Klingeltransformators gleich.

Die diesen Hinweisen entsprechende Gesamtschaltung ist in Bild 8a zusammengefaßt. Der Klingeltransformator, der berührungssicher in seinem Gehäuse bleibt, beliefert die Schaltung ständig. Man kann den geringen Strombedarf in jedem Falle von einem bereits anderweitig in der Wohnung eingesetzten Exemplar abfordern. Er sollte aber wenigstens 9 V an den Ladekondensator der Schaltung liefern, was bei den gegenwärtig angebotenen 6 V/0,5-A-Typen mit großer Wahrscheinlichkeit gegeben ist (s. Bild 7). Bild 8b zeigt das Leiterbild des Thermometers. Bestückt wird nach Bild 8c (s. die Hinweise weiter unten). Der Heißleiter befindet sich am Meßort. Leitungsstörspannungen filtern das gegen den Heißleiterwiderstand niederohmige RC-Glied im Stromgeneratorzweig und das gegen den Eingangswiderstand niederohmige RC-Glied in Richtung Steuerspannungseingang aus. Beide können entfallen (es bleibt nur der 1-µF-Kondensator, meist genügen dann sogar 100 nF), wenn sich der Fühler direkt am Gerät befindet, also die Temperatur des eigenen Zimmers anzeigt.

Der geringste Strombedarf – wichtig für die Möglichkeit, eine Batterie zu benutzen – ergibt sich bei Punktbetrieb. Daher wurden die Leuchtdioden im Sinne dieser Beschaltungsart angeschlossen. Klein und auch billiger als mit VQA 13 bis 33 wird das Gerät durch Einsatz von VQA 15-Miniaturdioden. Um Verdrahtungsaufwand zu sparen, befinden sich diese Dioden auf der Leiterplatte. Da die übrigen Bauelemente jedoch wesentlich höher sind, ergeben sich Probleme beim Einbau in ein Gehäuse. Die in Bild 8d skizzierte Möglichkeit ist eine von vielen. Eine andere besteht darin, die Dioden mit entsprechender Vorsicht auf die Leiterseite zu setzen. Neben den Dioden werden – etwa mit »typofix«-Ziffern – die Temperaturwerte angebracht. Die Skizze nach Bild 8d geht davon aus, daß nur die Leiterplatte im »Anzeigekopf« steckt. Eine vieradrige (wenn der Meßfühler weiter entfernt ist) oder eine zweiadrige Leitung (nur Speisespannung extern) stellt die Verbindung zum Rest des Geräts her.

Die Leiterplatte nach Bild 8b und Bild 8c wurde so gestaltet, daß die Leuchtdioden mit Blick auf die Kante sichtbar sind. Das vereinfacht die Gehäusegestaltung. Wie Bild 8e zeigt, hat die Baugruppe etwa die Größe einer Streichholzschachtel. Die Leuchtdioden liegen sozusagen auf einer Reibflächenseite. Beim Bauplan-»Standardformat« 40 mm × 50 mm nimmt die durch das unmittelbare Aneinanderreihen der Miniaturleuchtdioden entstandene Skale noch einen optisch ansprechend großen Teil der gesamten Kantenlänge ein. Die gewünschte Lage und die begrenzte Plattenfläche führten zu einer etwas unkonventionellen Montage der Leuchtdioden: Die Katodenanschlüsse werden dicht hinter dem breiteren Teil senkrecht vom Körper weggebogen und – nur etwa 1 mm auf die Lötseite ragend – in die Anschlußlöcher gesteckt. Die verbleibende freie Anschlußlänge ergibt eine gewisse bleibende Flexibilität, so daß das Ausrichten der Zeile unschwer gelingt. Die Anodenanschlüsse der vor dem Schaltkreis zu montierenden Dioden (es wurden von unten nach oben 2 × Grün und 4 × Gelb benutzt) biegt man ebenfalls vom Körper weg. Sie würden sonst die Schaltkreisanschlüsse berühren. Auf beiden Seiten der Zeile befindet sich je eine Bohrung, in die der die Anodenanschlüsse in »Freiluftverdrahtung« verbindende Draht eingelötet wird. Im Bild 8e erkennt man diese Einzelheiten. In diesem Muster wurden die 6 roten Dioden nur mit dem auf ihrer Seite liegenden Plus-Lötpunkt verbunden, während die anderen 6 Dioden einen eigenen Verbindungsdraht erhielten. Das erleichtert das Ausrichten.

Für die Außengestaltung gibt es wiederum einige Möglichkeiten. Bleiben die Leuchtdioden offen, so beschriftet man das Gehäuse am besten beidseitig (27 – 25 – 23 usw. z. B. rechts und 26 – 24 – 22 usw. links), sonst drängen sich die Ziffern zu stark in der Vertikalen. Man kann aber auch mit einem Transparentstreifen abdecken und eine dann eben relativ kleine Beschriftung darüber anbringen. Die jeweils aktive Diode ergibt einen etwas diffus leuchtenden Kreis um die jeweilige Zahl herum. Übrigens bringt die Dimensionierung des Steuerteils den hier vorteilhaften Effekt des gleitenden Übergangs, so daß man in 0,5-K-Quantelung ablesen kann. Leuchten also z. B. die den Werten 18 und 19 zugeordneten Dioden gleichzeitig, so bedeutet das 18,5 °C. Das gilt natürlich nur im Rahmen der möglichen Genauigkeit der Schaltung und bei sorgfältigem Abgleich. (Praktisch wird man wenigstens in Skalenmitte gelegentlich mit einem guten Quecksilberthermometer nach Einpendeln des »thermischen Gleichgewichts« den angezeigten Wert überprüfen und ggf. am I-Stellwiderstand leicht korrigieren. Man bedenke bei solchen Vergleichen, daß das Quecksilberthermometer meist wesentlich träger ist als der Heißleiterfühler!)

Unterzieht man sich der Mühe, zwischen den Leuchtdioden kleine lichtundurchlässige Papierstückchen – z. B. aus schwarzem Fotoverpackungspapier – einzuschieben, so ergibt sich auf der Transparentabdeckung der Eindruck eines scharf abgegrenzten kurzen Leuchtzeigers. Allerdings wechselt seine Höhe, je nachdem, ob eine oder 2 Dioden gleichzeitig leuchten.

Erhöhen der Betriebsspannung bei entsprechend leistungsfähiger Speisespannungsquelle erlaubt Bandbetrieb, also eine »fast echte« Thermometerskale, auch mit größeren Leuchtdioden. Man beachte dabei, daß dann immer maximal 4 Stück in Serie liegen. Werden z. B. gelbe Dioden verwendet (VQA 23 oder VQA 25), so braucht man für diese Serienschaltung bis zu 12 V Flußspannung. Hinzu kommen etwa 2,5 V für den Treiber im Schaltkreis, so daß 15 V als Betriebsspannung gerade richtig sind. Demgemäß – das gilt für alle Variationen der in diesem Bauplan gezeigten Beispiele! – müssen alle Stabilisierungs-Teilschaltungen entsprechend dieser erhöhten Spannung neu dimensioniert werden. Das betrifft vor allem die zulässigen Z-Dioden- und Vorwiderstands-Verlustleistungen. Weiterhin ist zu bedenken, daß eine voll ausgefahrene Bandskale etwa das 3fache des LED-Stroms einer im Punktbetrieb leuchtenden Diode erfordert (glücklicherweise nur – die Serienschaltung ist also ein günstiger Kompromiß!).

5. Fernthermometer mit optischer Anzeige und akustischen Grenzwertsignalen

5.1. Optische Anzeige mit Grenzwertklemmung

Die Schaltung wurde wieder für die Anzeige von Temperaturen im Zimmertemperaturbereich zwischen Eckwerten von etwa 16 bis 27 °C dimensioniert. Das wird durch Wahl eines dem Heißleiterwert angepaßten, konstanten Meßstroms und durch entsprechend eingestellte Eckspannungen U_r erreicht. Die Heißleiterkennlinie, für die auch diesmal keine Linearisierungsmaßnahmen vorgesehen worden sind, hat

in diesem begrenzten Bereich noch eine für viele Anwendungen vertretbare Nichtlinearität. Man kann also in der Anzeige grob mit 1-K-Sprüngen rechnen. An der unteren Temperaturgrenze liefert 1 K Änderung maximal etwa die 1,5fache Spannungsdifferenz gegenüber der oberen Temperaturgrenze. Der gegenüber Bild 5 erweiterte Steuerteil gemäß Bild 9 enthält einige Besonderheiten. Sowohl die Referenzspannungen wie auch der Konstantstrom des Stromgenerators lassen sich wieder einstellen. Das macht die Schaltung hinsichtlich des gewünschten Bereichs und des gerade vorhandenen Temperaturfühlers flexibler. Für den Fühler gilt folgende Grenzbetrachtung: Wird der mögliche U_{st}-Bereich bis maximal 6,2 V ausgenutzt, muß wegen der bei TNM-Typen geltenden Grenzwertleistung ohne Eigenerwärmung der Mindestwert von R_{HL} über 77 kΩ bleiben: $P_v = \frac{U^2}{R}$; $R = \frac{U^2}{P_v} = \frac{6{,}2^2}{0{,}5} \cdot 10^3\ \Omega$. Für 6,2 V über diesem Widerstand muß der Stromgenerator 80 μA liefern. Der Rechenwert für einen TNM 68k liegt für 16 °C bei 84 kΩ. Damit eignet sich dieser Typ für den vorgesehenen Zweck. Höhere R_{20}-Werte bedingen Verringern des Konstantstroms. Dadurch erhöht sich aber der Fehlereinfluß des mit maximal 2 μA angegebenen Eingangsstroms des A 277 D. (Typisch liegt er allerdings bei wenigen Nanoampere.) Aus verschiedenen Gründen ist es sinnvoll, die obere Grenze für U_{st} nicht auszunutzen. Unter anderem braucht die Schaltung wegen des Stromgenerators dann relativ viel Betriebsspannung. Spezielle Maßnahmen waren bezüglich der Grenzwerte erforderlich. Es muß damit gerechnet werden, daß bei U_S an der oberen zulässigen Grenze und bei zu kaltem oder nicht angeschlossenem Heißleiter am U_{st}-Anschluß für den A 277 D zu hohe Spannungen auftreten. Für alle Eingänge beträgt die maximal verwertbare Spannung 6,2 V. Eine unmittelbar an den Kollektor des Stromgenerators angeschlossene Z-Diode würde von dem niedrigen Meßstrom bereits bei Spannungen wesentlich unter ihrem Nennwert einen störenden Anteil abzweigen. Daher wurde die Spannung für die Referenzanschlüsse zunächst auf 5,1 V stabilisiert, wenn dieser Z-Dioden-Typ bei großen Einsatztemperaturbereichen auch eine größere thermische Drift bedeutet. Die Summe aus dem oberen Toleranzwert dieser Spannung und der Flußspannung der Diode vom Stromgenerator zu diesem Punkt ergibt die maximal mögliche Spannung. Sie bleibt mit Sicherheit unter 6,2 V. Es spielt keine Rolle, ob die obere Meßbereichsgrenze bezüglich U_{rmax} niedriger liegt. (Dimensionierungsänderungen s. Abschnitt 12.2!) Die der tiefsten angezeigten Temperatur entsprechende Leuchtdiode (wegen des negativen Heißleiter-TK dem höchsten Widerstands-, also auch Spannungswert zugeordnet!) leuchtet ohne besondere Maßnahme auch bei höherer U_{st} weiter. Dagegen verlischt bei Überschreiten der höchsten vorgesehenen Temperatur zunächst die zugehörige Leuchtdiode (U_{min}) wieder. Die Information »zu warm« wird also nicht gespeichert. Ein solches Verhalten war für den vorgesehenen Einsatzzweck nicht zulässig.

Der Steuereingang erhielt daher ein Dioden-OR, dem neben der Steuerspannung eine Klemmspannung zugeführt wird. Die Klemmspannung hält dann den U_{st}-Eingang auf einem ausreichend über U_{rmin} liegenden Wert. Der 1-MΩ-Widerstand ist nötig, um den infolge der Dioden unterbrochenen Gleichstromweg für den Eingangsstrom des pnp-Darlington-Transistors im U_{st}-Eingang wiederherzustellen. Mit maximal 2 μA nach Datenblatt ergibt sich über dem Widerstand eine höchste Spannung von 2 V. Sie legt damit die unterste zulässige Steuerspannung für diesen Einsatzfall fest, die unter schlechtesten Bedingungen angezeigt werden kann (Wert des Musters: 0,32 V). U_{rmin} muß um etwa 150 mV niedriger liegen, abhängig von der Differenz der Referenzspannungen. Da ergibt für U_{rmin} etwa 1,85 V. Die OR-Diode mit der Flußspannung U_F erhöht die am Heißleiter nötige unterste Spannung auf 2 V + U_F. Bei dem durch 1 MΩ bedingten niedrigen Flußstrom beträgt U_F nur etwa 0,45 V. Der Heißleiter muß also bei der oberen Grenztemperatur etwa 2,45 V liefern. Diese Bedingung erfüllt der TNM 68k rein rechnerisch im Falle seines Nennwerts mit einem Strom von 51,6 μA. Bei 16 °C sind dann 4,34 V zu erwarten, am U_{st}-Eingang also noch etwa 2,9 V. U_{rmax} sollte daher bei 4 V liegen. Kleine Korrekturen auf die genauen gewünschten Ansprechwerte nimmt man unter Betriebsbedingungen vor.

Von den Möglichkeiten, die für den eingestellten U_{rmin}-Wert nötige Klemmspannung für U_{st} zu gewinnen, wurde die in Bild 9 dargestellte gewählt. Die beiden in ihrem Kennlinienverlauf nur gering voneinander abweichenden pn-Übergänge der Doppeldiode sind thermisch eng gekoppelt. Dadurch kann vorausgesetzt werden, daß die mit dem kleineren Strom belastete OR-Diode auch wirklich eine genügend niedrigere Flußspannung hat als die im U_{rmin}-Zweig liegende.

In der vorliegenden Dimensionierung ist U_{rmin} dadurch um etwa 150 mV niedriger als U_{stmin}. Das entspricht bereits der angestrebten Differenz. Bei Bedarf könnte ein Widerstand von etwa 220 Ω in Serie mit der U_{rmin}-Diode die Spannungsdifferenz noch etwas vergrößern.

Die ganze Anordnung erhebt keinen Anspruch auf höchste Genauigkeit, sie erfüllt den angestrebten Zweck.

5.2. Akustische Grenzwertsignalisierung

Rechts von der durch die Leuchtdioden gebildeten senkrechten Achse im Bild 9 befindet sich der Schaltungsteil, mit dem zusammen erst das Klemmen der Extremwerte seinen objektbezogenen Sinn erhält. Innerhalb eines geschlossenen Regelkreises würde man einfach an den gewünschten Stellen Schaltungsinformationen für EIN und AUS abgreifen, und das System brauchte keine Pegelklemmung. Eine solche dem System angepaßte Möglichkeit besteht z. B. im Einfügen der Leuchtdiodeneingänge von 2 Optokopplern an den gewünschten Punkten.

Anders ist es in den Fällen, wo manuell auf das Absinken einer Temperatur oder auf das Hochlaufen einer nichtautomatisierten Heizung reagiert werden muß. Insofern stellt diese Einrichtung auch eine Möglichkeit dar, Energie zu sparen.

Während die »stille« optische Information nur bei bewußter Kontrolle Auskunft über den augenblicklichen Zustand liefert, sind unüberhörbare akustische Signale für die Grenzwertmeldung sinnvoller. Der Aufwand bleibt klein, wenn für beide Extremwerte derselbe Melder benutzt wird. Das sofortige Erkennen der gerade gegebenen Wirkrichtung (zu warm oder zu kalt) durch voneinander unterscheidbare Signale unterstützt die Wirksamkeit. Die optische Anzeige muß auch darum nicht unbedingt kelvingenau ausgegeben werden. Vielfach genügt es, die Unterscheidung von wärmer und kälter durch nur je eine Leuchtdiode anzuzeigen. Man faßt in solchem materialsparenden Fall die Ausgabeanschlüsse in 2 Gruppen zusammen, denen jeweils eine Leuchtdiode zugeordnet wird. Im Falle unterschiedlicher Farben sind die Anwendungsrichtlinien zu beachten [1] (s. auch Bild 5!). Gelb und Grün könnten dann für kalt stehen und Rot für warm, oder man benutzt 3 Gruppen und signalisiert z. B. mit Gelb den engeren Sollbereich. Für die akustische Ausgabe steht seit einiger Zeit der Timerschaltkreis B 555 D zur Verfügung. Er wird, wie aus Bild 9 zu ersehen ist, im vorliegenden Fall mit seinen Betriebsspannungsanschlüssen zwischen positive Spannung und Extremwert-Leuchtdioden gelegt. Die Hörkapsel und der zusätzliche Serienwiderstand gewährleisten ein gut hörbares Signal. Der Betriebsstrom wird durch die Ergiebigkeit des A 277 D-Ausgangs begrenzt. Jeder Ausgang liefert bekanntlich etwa 10 mA, wenn Anschluß 2 unbeschaltet bleibt.

Der B 555 D arbeitet im astabilen Modus. Durch äußeren Eingriff in seinen Kontrollspannungsteiler ist es möglich, einen um etwa eine Oktave höheren Ton zu erzeugen als ohne diese Maßnahme. Damit das nur an der oberen Temperaturgrenze den Ton beeinflußt, wurde zwischen den negativen Betriebsspannungsanschluß des B 555 D und den für die obere Temperaturgrenze gewählten Extremwertausgang eine Diode gelegt. Das kann ein beliebiger Miniplasttyp sein. Der Kontrollspannungseingang wird dadurch nur bei der oberen Temperaturgrenze beeinflußt. Für den Fall einer zu tiefen Temperatur ertönt so ein deutlich tieferer Ton. Man kann also schon über die nur akustische Information gezielt reagieren.

Die Leiterplatte nach Bild 9b und Bild 9c wird mit großen Leuchtdioden (VQA 13 bis VQA 33) bestückt, z. B. je 4 × Rot, Gelb und Grün für sinkende Temperaturrichtung. Die entstehende Punktskale kann auch für andere Zwecke genutzt werden; die Leiterplatte ist also nicht nur für die Schaltung nach Bild 9a von Interesse. Bild 9d zeigt das Foto eines »Handmusters«. Die endgültige Bestückung geht aus Bild 9c hervor. Im Vorgriff auf einen sicherlich noch notwendig werdenden Bauplan zu den vielen interessanten Einsatzmöglichkeiten des B 555 D geben Bild 10 bis Bild 12 die wichtigsten Informationen zu diesem Schaltkreis noch in der bisher üblichen Darstellung des Herstellers. Bild 10 zeigt die Innenschaltung und die Anschlußbelegung. Die beiden Grundschaltungen als astabiler und monostabiler Multivibrator gehen aus Bild 11 und Bild 12 hervor.

6. Kurzzeitsignalgeber

Für die Lösung der Aufgabe, nach Ablauf einer vorgewählten Zeitspanne ein akustisches Signal zu erzeugen, gibt es heute Timerschaltkreise wie den B 555 D oder den »komfortableren« E 355 D. In [2] wird mit diesem z. B. ein für die Bereiche bis 6 min und bis 60 min geeigneter »Timer« mit eigener Signaltonerzeugung beschrieben. Den eindeutigen Vorteilen der Einstellbarkeit größerer Zeitspannen und der Verfügbarkeit eines Signaltons sozusagen aus dem Schaltkreis heraus steht ein Nachteil gegenüber: Nach Start gibt es in der Grundausführung höchstens eine Informationsmöglichkeit über den Aktivzustand (ggf. blinkende Leuchtdiode), jedoch keine Aussage zum aktuellen »Zeitfonds« seit Start. Erst Zusatzaufwand – in [2] mit einem CMOS-Zählschaltkreis – beseitigt diesen Nachteil. Der A 277 D hat vordergründig andere Aufgaben. Es gelingt jedoch auch mit ihm, einen Kurzzeittimer zu realisieren, sozusagen »von der Anzeigeseite her« entwickelt. Diese wie auch die beiden folgenden Schaltungen sind als reine Experimentieranregungen zu verstehen. Man kann sie noch vielfältig variieren. Leiterplatten erschienen daher nicht sinnvoll.

Bild 13 zeigt das Prinzip: Ein Stromgenerator lädt den Kondensator C zeitlinear mit konstantem Strom I nach der Bedingung $U_C = \frac{Q}{C} = \frac{I \cdot t}{C}$ in der Zeit t auf die Spannung U_C. Umgestellt erhält man aus dieser Gleichung die zu erwartende Reaktionszeit $t = \frac{U_C \cdot C}{I}$ mit $U_C = U_{rmax} - U_{Stufe} + U_F$ für eine bestimmte obere Referenzspannung U_{rmax} am Schaltkreis. Mit ihr wird die »höchstwertige« Leuchtdiode erreicht, und dort läßt sich z. B. ein Signal ableiten oder – etwa wenn diese Leuchtdiode Eingangsteil eines Optokopplers ist – ein Vorgang schalten. Dieser Timer unterliegt – abgesehen von seiner bescheidenen Genauigkeit – einigen die Zeit stark einengenden Randbedingungen. Zunächst ist zu berücksichtigen, daß der den unteren Schwellwert mitbestimmende, nicht ganz zu vernachlässigende Strom aus dem Steuereingang (17) nach Masse (positive Stromrichtung) einen Ableitwiderstand R_A braucht. Nur dann kann ja der A 277 D den Anfangszustand »$U_{steuer} \approx 0$« annehmen. Für übliche Betriebsfälle spielt das keine große Rolle, wenn die Steuerspannung aus einem entsprechend belastbaren Teiler stammt. Anders im vorliegenden Falle der Aufladung eines Kondensators. Solange dieser Widerstand nur z. B. 100 kΩ beträgt, liefert der maximal laut Datenblatt mögliche Eingangsstrom von 2 μA nur 0,2 V Fehlspannung. Erst ab 0,2 V kann also eine Steuerspannung zur Wirkung kommen. Hat der Fehlstrom I_{17} tatsächlich den oberen Grenzwert von 2 μA, so fließt auch erst ab 0,2 V Steuerspannung ein die Steuerquelle belastender Strom durch diesen Widerstand, nämlich $I_{st} = \frac{U_{st} - 0{,}2\ V}{R_A}$. Im allgemeinen liegt der aus dem Eingang kommende Strom jedoch wesentlich niedriger – typisch werden nur 6 nA angegeben (Tabelle 2). Ein für den »worstcase« (also den schlechtesten Fall) ausgelegter Ableitwiderstand bedeutet damit eine merkliche Belastung der Steuerquelle, sobald $U_{st} > I_{17} \cdot R_A$ ist. Von ihr kommt ja im allgemeinen nicht ein Konstantstrom (was für den Steuervorgang sinnlos wäre), sondern es liegt an diesem Widerstand eine Spannung, die bis zu 6,2 V betragen darf. 100 kΩ bedeuten dann also bereits 62 μA Belastung (und immer noch 60 μA für $I_{17max} = 2\mu A$). Wählt man R_A daher um eine Größenordnung höher, also 1 MΩ, muß dafür unter Umständen eine Grundspannung von 2 μA · 1 MΩ = 2 V(!) in Kauf genommen werden. Dafür fließen dann selbst bei 6,2 V nur noch höchstens 6,2 μA aus der Steuerquelle. Das ist also die für das Aufladen des Kondensators wichtigste Störgröße. Man muß daher bei gewünschtem zeitlinearem Aufladen von einem Stromgenerator her einen deutlich größeren Ladestrom vorgeben. Die erreichbaren Zeiten sind dadurch begrenzt. Übermäßiges Vergrößern von C – es kommen leider nur Elektrolytkondensatoren in Frage – bedeutet wiederum größere Elektrolyt-Restströme. Moderne Typen weisen allerdings, von Formierströmen nach längeren Betriebspausen abgesehen, heute schon nur noch im unteren Mikroamperebereich liegende Werte auf.

Akzeptiert man Unvollkommenheiten dieser Art angesichts des Vorzugs, vom Ablauf der eingestellten Zeit stets z. B. in 10-%-Sprüngen optisch informiert zu sein, so steht dem Bau eines Kurzzeittimers mit eigener Signaltonerzeugung nichts mehr im Wege. Es mag allerdings zunächst verblüffen, daß aus dem A 277 D außer der »laufenden« optischen Standinformation auch noch ein Signalton gewonnen werden kann. Daher auch dazu eine Prinzipdarstellung (Bild 14). Für die Tonausgabe ist ein Transistor erforderlich. Bezieht man ihn mit geeignet gewählten Zeitkonstanten in den Steuerkreis mit ein und benutzt den letzten Ausgang des A 277 D als Auslösepunkt, so entsteht ein selbstschwingendes System: An dem zunächst entladenen C steigt U_C durch den (etwa konstanten) Ladestrom zeitlinear an. Je nach gewählter unterer Referenzspannung leuchtet kurz darauf die erste Leuchtdiode. Mit wachsender Spannung an C wird schließlich die zum Durchsteuern der letzten Ausgangsstufe erforderliche Spannung erreicht. Jetzt schaltet diese sozusagen von H auf L. Bei einer Grundbeschaltung mit z. B. 47 kΩ als »R4« nach Plus (dort, wo beim gewählten Punktbetrieb sonst die letzte Leuchtdiode liegt) bedeutet H etwa Betriebsspannung, während die Spannung für L auf Grund des geringen Stroms an Anschluß 4 bis unter 1 V sinken kann. Über eine Diode, die ein Aufladen des Kondensators C von der in der Gesamtschaltung an 4 liegenden positiven Spannung verhindert, kann jetzt also der Steuerkondensator entladen werden (wobei R_V die Entladezeit mitbestimmt). Durch die an ihm sinkende Steuerspannung wird die letzte Stufe wieder hochohmig, und der Kondensator entlädt sich nur bis zu einem bestimmten Betrag. Nun liegt aber

am Steuerpunkt 17 über eine RC-Serienschaltung auch der Kollektor des pnp-Tonverstärker-Transistors, dessen Lastwiderstand im Beispiel eine 400-Ω-Ohrhörerkapsel ist. Er erhält über ein RC-Glied von Ausgang 4 her einen Impuls, der ihn weiter öffnet. Das bewirkt einen positiv gerichteten Impuls am Steuerpunkt 17. Dort steht also für eine von den Zeitkonstanten im Transistorkreis abhängige Zeit weiterhin Öffnungsspannung für Ausgang 4. Dadurch kann sich der Steuerkondensator weiter entladen. Nach Aufhören dieses »flüchtigen« Vorgangs lädt er sich wieder nach, ebenso der Koppelkondensator, bis erneut die für Ausgang 4 nötige Steuerspannung erreicht ist usw. Das Ergebnis ist ein durch die Widerstände und Kondensatoren im Kreis in weiten Grenzen in Frequenz und zusätzlicher Modulation beeinflußbares Signal. Es ertönt so lange, bis der Startknopf erneut gedrückt oder auch bis das Gerät abgeschaltet wird. Beim Abschalten entlädt man sinnvollerweise auch C mit, was ein Simeto-Umschalter ermöglicht (s. Einzelheit in Bild 15). Dadurch ist beim Einschalten bereits der erste Impuls möglich. Bild 15 zeigt ein einfaches Ausführungsbeispiel dieses Timers. Der Stromgenerator ist im Beispiel nur ein einstellbarer Vorwiderstand. Das verschlechtert die Linearität. Es ließen sich aber so mit nur 220 µF Zeiten bis zu knapp 1 min realisieren. Sowohl an den Referenzspannungen wie auch am Ladestrom des Stromgenerators läßt sich die Zeitspanne beeinflussen. Es empfiehlt sich, vom Ladestrom für t_{max} auszugehen und mit der oberen Referenzspannungsschwelle die gewünschte Maximalzeit einzustellen. Am mit etwa 10 % Vorwiderstand begrenzten Stromgenerator-Stellwiderstand kann in einem Bereich zwischen etwa 0,1 t_{max} und 1 t_{max} kontinuierlich gewählt werden. Die untere Referenzschwelle legt man so, daß wenigstens kurz nach Start die erste Leuchtdiode aufleuchtet. Bei »typischen« Exemplaren des A 277 D kann für diese Bedingung Anschluß 16 einfach an Masse gelegt werden. Für die günstigere 10-%-Stufung der optischen Information läßt sich statt Anschluß 4 Anschluß 5 als Entladepunkt wählen, so daß nur 10 Leuchtdioden (15 bis 6) anzuschließen sind. Ein gewisser Spielraum bezüglich U_{rmin} ergibt sich auch, wenn statt dessen Anschluß 15 offenbleibt und die letzte Leuchtdiode an Anschluß 5 liegt. 4 ist dann wieder der Entladepunkt.

7. Rotierender Leuchtpunkt

Zur »nicht unbedingt ernsten« Seite der Elektronik gehören Lichteffekte. Lauflichtschaltungen sind dabei besonders beliebt. Je größer die geschalteten Lichtquellen, um so eindrucksvoller ist dabei der Effekt. Der A 277 D kann 12 solcher Lichtquellen aktivieren: bis 20 mA und bei Niederspannung direkt, darüber über Schalttransistoren, Relais, Thyristoren oder (und) Optokoppler. Diese Ausgabemöglichkeiten werden noch behandelt.

Auf jeden Fall benötigt man zunächst einmal eine Steuerschaltung, und diese kann vorerst mit Leuchtdioden als Indikatoren ausgestattet werden. In »Mini-Anwendungen« bleibt es dann dabei. Wie wär's z. B. mit dem Umrahmen des Türschilds? Als zusätzlicher »Spaßeffekt« bietet sich eine helligkeitsgesteuerte Umlauffrequenz an: Je heller, um so schneller!

Bild 16 zeigt bereits die so ausgelegte Gesamtschaltung. Für den Stromgenerator genügt wieder ein billiger Vorwiderstand. Sofern der Ladespannungs-, also Steuerspannungsbereich deutlich unter der Betriebsspannung bleibt (was mit entsprechend niedriger U_{rmax} erreicht wird), hält sich die Ladestromverringerung bei steigender Ladespannung in tragbaren Grenzen. Bei kreisförmig angeordneten Leuchtpunkten hat man dadurch allenfalls den optischen Eindruck einer gewissen »Unwucht« in der Rotation.

Das Zurückfallen bis auf die erste Leuchtdiode, sobald die Steuerspannung den nicht mit einer Leuchtdiode belegten letzten Ausgang nach Masse durchgeschaltet hat, kommt auf Grund des gleichen Mechanismus wie bei der Tonerzeugung im Timer zustande. Allerdings wurde in Bild 16 dafür gesorgt, daß sich der Kondensator – weil hier ohne Vorwiderstand an Anschluß 4 gekoppelt – rasch bis zu einer mit U_{refmin} verkoppelten Spannung etwa zeitlinear mit $I_{entl.}$ = 10...20 mA, je nach Beschaltung von Anschluß 2, entladen kann.

8. Vogelstimmen

Eine ebenfalls gern nachgebaute Anwendung der Elektronik ist das Nachbilden von Vogelstimmen. Im vorliegenden Rahmen stellt das ein »Abfallprodukt« dar. Dazu wird der Timer nach Bild 15 etwas variiert.

Der dort zunächst für die Zeitspanne bis zum Alarm nötige Kondensator hätte jetzt nur noch die Funktion eines Steuergliedes im Gesamtverband der die Töne erzeugenden Schaltung. Er kann damit – wie in Bild 17 – sogar entfallen. Mit einem Fotowiderstand läßt sich ggf. erreichen, daß das »liebe Tier« wenigstens nachts den Schnabel hält. Werden im Basiszweig des Transistors Widerstände durch Heißleiter ersetzt, erkennt man akustisch sein jeweiliges »Wohlbefinden« an Änderungen des Geschreis. Diese Schaltung ist ein dankbares Betätigungsfeld, wenn einmal nicht unbedingt ein Nutzen erzielt werden soll – elektronische Freizeitgestaltung, vergleichbar mit Unterhaltungsfernsehen oder Skat...

9. Aussteuerungsanzeigen

Eine der wohl beliebtesten Anwendungen des A 277 D besteht in der Anzeige des Aussteuergrades von NF-Verstärkern im »Heimstudio«. Die zunehmende Auswahl an unterschiedlich gestalteten Leuchtdioden erlaubt – je nach Beschaffungslage – Anzeigezeilen zwischen knapp 30 mm Länge (12 × Miniatur-LED, z. B. VQA 15, VQA 25, VQA 35) und rund 80 mm (Rechteckdioden) je Kanal.

Wird eine solche Anzeige nur zur linearen Information über den Aussteuergrad der Endstufen benutzt (Spannungsmessung), so gestaltet sich die Gewinnung der Steuerspannung recht einfach. Man erreicht so außerdem eine Art »Lichtorgeleffekt«, was die Amplitudenänderung unabhängig von der Frequenz betrifft. Werden dabei im Sinne einer echten Lichtorgel frequenzselektive Signale abgeleitet und mehreren A 277 D zugeführt, so sind zusätzliche Effekte zu erzielen. Solche Anwendungen wiederum steuert man günstiger – weil dann von der eingestellten Lautstärke unabhängig – von einem Signal vor dem einstellbaren Teil des Verstärkers. Die angesprochene Aufgabe einer linearen Aussteuerkontrolle des Endverstärkers (zur für andere Zwecke sinnvollen logarithmischen Ansteuerung s. [3] und [6]) läßt sich nahezu trägheitslos bereits mit einer einfachen Eingangsschaltung gemäß Bild 18a lösen.

Die Ausgangsspannungen liegen im interessierenden Bereich deutlich über den Schwellspannungen der Dioden. Die Nichtlinearität bei kleiner Aussteuerung ist hier weder von Vor- noch von Nachteil, da ja nur der Bereich interessiert, in dem bald mit Verzerrungen gerechnet werden muß. Für einen eisenlosen Verstärker mit einem Lautsprecher der Impedanz R_L ist für die Nennleistung P_A mit einer maximalen effektiven Spannung (Sinusbetrieb) von $U = \sqrt{P_A \cdot R_L}$ zu rechnen. Beispiel: P_A = 6 W, R_L = 6 Ω, $U = \sqrt{6\,W \cdot 6\,\Omega}$ = 6 V, was einem Spitzenwert bei Sinusform von $6\sqrt{2} \approx 8{,}5$ V entspricht. Man kann also ohne weiteres mit dem vollen Aussteuerhub des A 277 D operieren. Auf die maximal zulässigen 6,2 V für den Steuereingang paßt – wichtig besonders auch für höhere Ausgangsleistungen – das Eingangspotentiometer an. Für Bild 18a entstand ein Leiterplattenvorschlag (Bild 18b, Bestückung: Bild 18c). Um diese Platte auch für andere Einsatzfälle mit Bandbetrieb benutzen zu können, enthält sie noch Stellmöglichkeiten für U_{rmax} und U_{rmin}. (Bei $U_{stmax} \approx 6$ V würde ja sonst für U_{rmax} die Z-Diode genügen, und Anschluß 16 käme an Masse.) Die Leiterplatte wird also je nach Aufgabenstellung bestückt, und der Einsatz der Brücken zwischen den Lötösen richtet sich ebenfalls danach. Bild 18c enthält dazu die nötigen Informationen. Die Leiterplatte bietet schließlich noch die Möglichkeit, einen Fotowiderstand anzuschließen oder einfach am 100-kΩ-Steller die Helligkeit zu wählen.

Wie in vielen Anwendungen des A 277 D, so empfiehlt sich auch hier eine Farbkombination aus grünen, gelben und roten Leuchtdioden, z. B. in dieser genannten Reihenfolge für zunehmende Aussteuerung. Das heißt, an 15 kommt die erste grüne und an 4 die letzte rote Leuchtdiode. Bandbetrieb ist die dieser Anwendung gemäße Betriebsart. Selbstverständlich sind die Sicherheitsbestimmungen zu beachten, wenn eine solche Schaltung an ein vorhandenes Gerät angeschlossen werden soll. Erst nach einem entsprechenden »Unbedenklichkeitsurteil« eines Fachmanns darf z. B. der Lautsprecherstecker vom Gerät getrennt und in die Buchse der Aussteueranzeigeeinrichtung gesteckt werden. Ihre Leitung führt man dann statt des Lautsprechers in die Lautsprecherbuchse des Geräts ein.

Auch diese Anzeigeeinheit sollte aus einem eigenen Transformator gespeist werden. Man bedenke aber, daß der Bedarf sowohl an Betriebsspannung als auch an Strom bei Bandbetrieb höher ist als bei Punktbetrieb. Zur Erinnerung: Das gilt bezüglich der Spannung infolge der in Serie geschalteten maximal 4 Dioden jeder der 3 Sektionen des Schaltkreises. Bei gelben Leuchtdioden sind das immerhin bis zu 12 V! Die Stromaufnahme der Anzeige beträgt etwa das 3fache, wenn alle Dioden leuchten (mindestens aber neben denen der ersten beiden Sektionen die erste der dritten). Die Einheit wird 2mal gebraucht, wenn es um Stereoanlagen geht. Die flache Bauform (durch die abgewinkelten Leuchtdioden) erlaubt, die Anzeigeeinheit über, neben oder unter dem Lautsprecher anzuordnen. Die Bandstruktur kommt dabei nur

voll zur Wirkung, wenn die Dioden dicht nebeneinander angeordnet werden. Allerdings bringt auch das Auseinanderrücken, z. B. auf die Breite des Lautsprechers, ansprechende Effekte. Bild 18b zeigt ein Leiterbild für den ersten Fall. Die Bestückung mit den z. Z. wohl am leichtesten erhältlichen VQA 13, VQA 23 und VQA 33 erfordert eine Halbrasterstruktur für die Lötpunkte. Das heißt, zwischen den im 2,5-mm-Raster liegenden Anschlüssen benachbarter Leuchtdioden sind $1\frac{1}{2}$ Rastereinheiten ≙ 3,75 mm nötig. Bei Montage gemäß Bild 18c werden die Anschlüsse der Leuchtdioden nicht gekürzt. Lediglich der aus Kennungsgründen etwas längere Anschluß ist dem kürzeren anzupassen. Danach biegt man – wenn flache Anordnung gewünscht wird – die Dioden waagerecht nach außen.

10. Temperaturanzeigen für größere Bereiche

Der A 277 D ist, wie man sicherlich inzwischen erkannt haben wird, (fast) stets nur in Verbindung mit Signalquellen sinnvoll, deren Aufwand von der jeweiligen Meßaufgabe bestimmt wird.

10.1. Temperaturfühler

Der Umfang einfacher Temperaturanzeiger, wie sie in den ersten Abschnitten dieses Bauplans beschrieben worden sind, hielt sich eingangsseitig in engen Grenzen. Das bewirkte die hohe Empfindlichkeit des benutzten Fühlers. Jedoch lassen sich mit Thermistoren eben nur in relativ kleinen Bereichen einigermaßen lineare Abhängigkeiten zwischen Temperatur und Steuerspannung realisieren. Linearisierungsmaßnahmen in Form von Parallel- und Serienwiderständen vermindern selbstverständlich auch den für die verfügbare Steuerspannung wirksamen Temperaturkoeffizienten. Dieser »TK« ist ja bekanntlich die relative Änderung eines Wertes (hier des Widerstands) durch Einfluß der Temperatur, bezogen auf die Temperaturänderung. Hat z. B. ein Widerstandsmaterial einen »TK« von +1 %/K, so steigt der Wert eines Widerstands aus diesem Material um jeweils 1 %, wenn sich seine Temperatur um 1 K erhöht.

Lineare Anzeige setzt selbstverständlich auch lineare Abhängigkeit der vom Fühler gelieferten Information von der Temperatur voraus. Das ist beim Thermistor nicht gegeben. Außerdem – als Nachteil der für kleinere Anzeigebereiche vorteilhaften Eigenschaft der hohen Temperaturabhängigkeit seines Widerstands – nimmt der Widerstandswert an den Grenzen größerer Temperaturbereiche rasch für die Schaltungsauslegung »unhandliche« Werte an. Und schließlich entsteht dadurch ein großer Hub in der Leistungsaufnahme, so daß mit Kontrollrechnungen die Einhaltung der Grenzleistungsbedingung bezüglich Eigenerwärmung (0,5 mW bei TNM-Typen) überprüft werden muß.

Ein bei einer verläßlich bestimmten Temperatur (z. B. Kupferfühler mit Präzisionsthermometer in Ölbad) gemessener R_T von Kupferdraht dagegen hat bei der Temperatur $T \pm x$ den vorausbestimmten Wert $R_T \pm x = R_T (1 \pm \alpha x)$. Temperaturzunahme um $x \cdot K$ bedeutet also Widerstandszunahme um den Faktor $0{,}0038 \cdot x$, Abnahme das Gegenteil. Kupfer ist allerdings ein guter Leiter. Soll sich daher eine Temperaturänderung in einer verwertbaren Spannungsänderung ausdrücken, braucht man möglichst dünnen Fühlerdraht. Andernfalls würden die Dimensionen des Fühlers und damit auch seine Wärmeträgheit – von Spezialfühlern mit gewollt großer Ansprechhysterese abgesehen – viel zu groß werden. Aus Tabelle 3 sind für 20 °C die Widerstandswerte üblicher Drahtsorten (Blankdraht gemessen, der Isolationslack vergrößert den Durchmesser um einige Prozent) zu ersehen. Wie sich noch zeigen wird, beginnt bei etwa 0,1 mm der für unsere Wünsche verwertbare Bereich. Von einem ausrangierten Klingeltransformator z. B. läßt sich der Draht der Primärseite ausgezeichnet nutzen. Üblich sind dort etwa 0,09 mm, was 2,75 Ω/m entspricht.

Das ist der üblicherweise für 20 °C angegebene Wert. Mit $2{,}75\ \Omega/m \cdot (1 - 20\ K \cdot 0{,}0038\ K^{-1})$ erhält man den Kupferwiderstand von 1 m 0,09-mm-Draht bei 0 °C. Das sind 2,541 Ω/m. 10 Ω bei 0 °C ergeben sich also mit (10/2,541) m Drahtlänge, d. h. mit 3,9355 m. Speist man diese Drahtlänge mit einem Konstantstrom von 10 mA, so ergeben sich 103,8 mV bei +100 °C, 100,0 mV bei 0 °C und 98,9 mV bei −50 °C. Je Grad Kelvin Temperaturänderung ist mit 0,38 mV zu rechnen: $10\ mA \cdot 10\ \Omega \cdot 0{,}0038\ K^{-1}$. Allgemein gilt $\Delta U = I_F \cdot \alpha_{Cu} \cdot \Delta\vartheta$. Toleranzen von R_0 (Widerstand bei 0 °C) können durch einmaliges gegenläufiges Verändern von I_F kompensiert werden. Das Produkt $I_F \cdot R_0$ muß im betrachteten Fall den Wert 100 mV behalten.

10.2. Verstärken der Fühlerspannung

Operationsverstärker gestatten heute, auch Probleme dieser Art zu lösen. Allerdings liegt die auf Grund der Grenzen des Fühlers (Widerstandswert, Eigenerwärmung durch Meßstrom) gegebene Meßspannung recht niedrig: 0,38 mV/K bei 10 Ω Grundwert für 0 °C und 10 mA Meßstrom (dadurch P_V nur 1 mW bei 0 °C). Das ist ein Wert, der in der Größenordnung von Offsetspannungen liegt, die sich am Eingang infolge der Eingangsströme des Operationsverstärkers einstellen. BIFET-OPV entschärfen das. Beim Entstehen des Bauplans waren vorerst bipolare OPV aus der Reihe der universellen Operationsverstärker greifbar. Der Typ B 631 D hat Darlington-Eingänge. Er kam daher der Aufgabenstellung noch am nächsten. Ein Abgleich der internen Offsetspannung gelang über den Kompensationsanschluß 6. Im folgenden Abschnitt wird beschrieben, wie sich ein mit diesem Verstärker bestückter Modul für ein brauchbares LED-Bandskalenthermometer mit A 277 D einsetzen läßt.

10.3. Boilerthermometer mit A 277 D

Man kann die Verstärkung eines solchen Moduls dem Eingangsspannungsbedarf anpassen. Die Möglichkeit, den Referenzspannungshub zwischen 1,2 V (1,4 V) und 6,2 V zu wählen, schafft dabei einen gewissen Spielraum für den abzubildenden Temperaturbereich. Die Quantelung in Form der 12 Leuchtdioden schränkt dabei stets die erreichbare Auflösung ein. Für schnell informierende Grobanzeigen reicht das aber im allgemeinen.

Durch das Kompensieren des Grundwiderstandswerts kann – zumindest theoretisch – je nach gewählter Verstärkung eine beliebige Anzeigesteilheit (V/K) erreicht werden. Das stellt allerdings hohe Anforderungen an die Konstanz der Referenzspannungen. Mit einer einfacheren Schaltung kommt man dagegen aus, wenn man sich mit der Steilheit von 0,38 mV/K begnügt (Bild 19a). Diese Ausgangsposition ergibt sich, wenn der Grundwert $I_{konst} \cdot R_F$ (Größenordnung 100 mV) nicht kompensiert, also »ausgeblendet« wird.

Die eingestellte Verstärkung macht aus der Grundwertspannung den V-fachen Wert. Man kann nun V so wählen, daß dadurch eine Steuerspannung im zulässigen Bereich des A 277 D entsteht. Im Interesse einer übersichtlichen Anzeige wähle man glatte Temperatursprünge für die 12 Möglichkeiten (11 Sprünge) der Anzeige. Auf Grund des vom Datenblatt geforderten Mindestwerts für $U_{rmax} - U_{rmin}$ gerät man in einen vorgegebenen Rahmen, innerhalb dessen die Größe dieser Sprünge und der anzeigbare Temperaturbereich nicht mehr unabhängig voneinander sind und auch nicht frei gewählt werden können. Das geht aus der folgenden Betrachtung hervor.

Der A 277 D läßt eine maximale U_{ref} von 6,2 V zu. Bei Bandbetrieb wird die kleinste tragbare Differenz $U_{rmax} - U_{rmin}$ mit 1,2 V angegeben. Das sind etwa 100-mV-Sprünge zwischen kleinster und größter Steuerspannung, wenn vereinfachend die beiden Ansprechschwellen mit für diesen Fall je 100 mV angenommen werden. Das heißt, $U_{stmax} = 6{,}1$ V, und $U_{stmin} = 5{,}0$ V. Die Gleichung für Bild 19a lautet allgemein $U_A = V \cdot I_F \cdot R_F = V \cdot I_F \cdot R_{Fmin}(1 + \alpha\Delta\vartheta) = U_{stmin}(1 + \alpha\Delta\vartheta)$. R_{Fmin} ist der Fühlerwiderstand, bei dem mit entsprechend gewählten Werten für V_F und I_F die Spannung U_{stmin} entsteht, bei der die unterste Leuchtdiode im A 277 D anspricht. Für den erfaßbaren Temperaturbereich gilt $\Delta U_A = U_{stmax} - U_{stmin}$. Das heißt, $\Delta U_A = U_{stmin}(1 + \alpha\Delta\vartheta) - U_{stmin}$, oder $U_{stmax} - U_{stmin} = U_{stmin} \cdot \alpha\Delta\vartheta$ und damit $\Delta\vartheta = \frac{1}{\alpha}\left(\frac{U_{stmax}}{U_{stmin}} - 1\right)$. Das ergibt mit den obigen Ansätzen $\Delta\vartheta = \frac{1}{\alpha}\left(\frac{6{,}1}{5{,}0} - 1\right) = 57{,}895$ K. Etwas »am Rande des Zulässigen« arbeitend, lassen sich also den 11 Stufen des A 277 D 5-K-Sprünge zuordnen: $55\ K = \frac{1}{\alpha}\left(\frac{6{,}1}{U_{stmin}} - 1\right)$; $U_{stmin} = 5{,}046$ V. Damit werden die einzustellenden Referenzspannungen des A 277 D $U_{rmax} \approx 6{,}2$ V, $U_{rmin} \approx 4{,}95$ V.

Man beachte:
- 6,2 V ist der noch vertretbare Größtwert.
- Jede größere Spannungsdifferenz gibt größere Temperaturwertsprünge von Leuchtdiode zu Leuchtdiode.
- Jede kleinere obere Referenzspannung gibt ebenfalls größere Sprünge.
- V (und I) können lediglich dazu eingesetzt werden, den abgebildeten Temperaturbereich zu verschieben.

Damit eignet sich diese Schaltung (je stabiler die I-Einstellung und die Referenzwerte stehen, um so besser) z. B. als Außenthermometer (außen ist nur der Fühler!) mit den Anzeigesprüngen −20, −15, −10, −5, 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 °C oder – siehe Überschrift – für Boilertemperaturen: 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95 °C. Da die Übergänge bei kleiner Referenzspannungsdifferenz gleitend sind, beträgt die größte mögliche Auflösung 2,5 K und entspricht damit der bei einfacher Z-Dioden-Stabilisierung zu erwartenden Meßunsicherheit.

Bild 19b zeigt ein Leiterbild für den Modul; bestückt wird nach Bild 19c. Eine Leiterplatte für Anzeige im Bandbetrieb ist bereits – mit zusätzlichen, hier nicht nötigen Schaltungsteilen versehen – in Bild 18 enthalten. Es empfiehlt sich, die Referenzspannungen von der stabilisierten positiven Modulspannung abzuleiten, auf deren Belastbarkeit zu achten ist. Dann sind eventuelle Änderungen von U_{st} und U_{ref} wieder gleichsinnig.

11. Großsichtanzeigen

Über die Eingangsseite des A 277 D ist nun wohl genügend berichtet worden. Auch ausgangsseitig kann man wesentlich mehr tun, als es der Anschluß von 12 Leuchtdioden vermuten läßt. Am Beispiel von Lampensteuerungen sei das noch kurz skizziert. Schon der Einsatzfall »Grenzwertmelder« hat gezeigt, daß dabei auch andere Wirkungen ausgelöst werden können. Denkbar ist auch z. B. der Abgriff von Signalen für das Steuern anderer Vorgänge – eben u. a. das automatische Einhalten eines Temperaturbereichs statt nur seiner einfachen Überwachung.

Meist muß das Steuersignal dabei verstärkt oder gar auf einen anderen Spannungspegel gebracht werden. Für den ersten Fall lassen sich Transistoren oder auch (Niederspannungs-) Thyristoren einsetzen. Der zweite Fall legt Optokoppler-Potentialtrennung nahe. Da die Eingangsseite eines Optokopplers eine Leuchtdiode darstellt, sind dabei problemlos sowohl Punkt- wie Bandsteuereffekte erzielbar. Der »Band«-Betrieb erfordert dabei – im Unterschied zur direkten Steuerung – nicht mehr ein Mehrfaches der Betriebsspannung der angeschlossenen Lichtquellen, da sich die Bandbeschaltung auf die Steuerseite beschränkt. Die Lichtquellen dagegen können von einer gemeinsamen Betriebsspannung parallel gespeist werden.

12. »typofix«-Folie zum Bauplan und Hinweise

Wie stets bei der Entwicklung eines Bauplans bezieht sich der größte Teil der Aussagen auf die Ergebnisse der zunächst mit »typofix«-Elementen hergestellten Versuchsleiterplatten. Auf ihrer Basis werden die Skizzen für den Zeichner angefertigt. Bauplantext und endgültige, druckreife Zeichnungen liegen damit im allgemeinen etwa gleichzeitig vor. (Diese Zeilen entstanden danach!) Von den Originalzeichnungen stellt der Autor Fotonegative her, von denen er im fotomechanischen Verfahren Kontroll-Leiterplatten gewinnt, und Fotopositive, die als Vorlagen für die »typofix«-Folie zum Bauplan benutzt werden. Die voll bestückten Kontroll-Leiterplatten müssen nun ihre Brauchbarkeit beweisen. Dabei zeigen sich meist einige Fehler, z. B. von der Übertragung der Skizzen her (sie enthalten im allgemeinen gegenüber den Mustern »erkenntnisstandbedingte« Änderungen). Aber auch schaltungstechnische Korrekturen sind nie ganz auszuschließen. Man bedenke, daß jedes Bauplanobjekt im Grunde ein elektronisches Gerät (oder gar mehrere!) mit extrem kurzer Überleitungszeit darstellt. Das bedingt schon das Reagieren auf Bauelemente, die gerade für den Amateur zugänglich geworden bzw. kurzfristig zu erwarten sind. Den A 277 D konnte man beispielsweise 1982 bereits u. a. in Wermsdorf erwerben. Abgesehen von gelegentlichen verdeckt bleibenden Unvollkommenheiten (die z. B. die Hauptfunktion nicht beeinflussen und darum beim Test unbemerkt geblieben sind) handelt es sich also bei den »typofix«-Folien sozusagen um geprüfte Entwicklungsmuster. Bisweilen zwischen Folie und Bauplanbild auftretende geringfügige Unterschiede belegen, daß wirklich bis zuletzt versucht wird, dem Leser funktionelle Zuverlässigkeit zu bieten.

Ganz ohne Mitdenken geht es natürlich nicht. Jeder Entwickler weiß, welcher Aufwand nötig ist, ein serienreifes, gegen alle Bauelemente- und Fertigungstoleranzen sicheres Gerät zu schaffen. Serienreif sind jedoch alle Bauplanobjekte sicherlich nicht. Irgendwo liegt eine obere Grenze, die den Zeitfonds auch des fleißigsten Autors übersteigt. Die Fülle des Gebotenen rechtfertigt diese Grenze. Bisweilen fordert auch eine ungewöhnliche Lösung vom Leser die Bereitschaft, seinen speziellen Ansprüchen gemäß weiterzudenken. Typisch dafür ist der vielseitig einsetzbare Indikator mit Kupferfühler in Abschnitt 10. Genauer Wert des Fühlerwiderstands – den zu messen die 4-Draht-Methode allerdings sehr erleichtert! –, gewisse Nichtlinearitäten in den Anzeigesprüngen des A 277 D und schließlich auch die begrenzte Treffsicherheit der Stellpotentiometer sind Faktoren, die Präzision »schwierig machen«. Der Gebrauchswert des entstandenen Fernmelders, problemlos mit Klingeltransformator gespeist und auf den gewünschten Bereich eingestellt, zeigt sich im Einsatz. Beim Autor befanden sich alle Varianten, als diese Zeilen dem Bauplantext nachgereicht wurden, schon bis zu 3 Monaten in Dauererprobung, nun abgelöst im Vergleichstest durch die endgültigen Leiterplatten samt ihren nachgetragenen Korrekturen.

12.1. Leiterplatte zu Bild 8 und einige weitere Hinweise

Beim Test zunächst mit Einzelleuchtdioden zeigte sich eine »Informationslücke« zum Punktbetrieb. Darum der Hinweis: Wenn bei Punktbetrieb nicht alle Leuchtdioden angeschlossen werden, so ist Anschluß 14 z. B. über 10 kΩ mit Plus zu verbinden. Anderenfalls reagiert der Schaltkreis wie bei Bandbetrieb, d. h., Leuchtdioden an den Ausgängen 8 und 12 leuchten bei höherer Steuerspannung weiter mit! Man kann solches Verhalten natürlich für bestimmte Spezialfälle auch bewußt nutzen. Der empfohlene 10-kΩ-Widerstand ließe sich zwar auch durch einen Kurzschluß ersetzen, doch fließen dann bei entsprechender Steuerspannung in diesen Anschluß unnötigerweise etwa 10 mA, wenn Anschluß 2 nicht beschaltet ist.

Zu den Stabilisierungsmaßnahmen (generell): Es sei nochmals darauf hingewiesen, daß die Eingänge nicht gefährdet sind, wenn sie die volle Betriebsspannung erhalten. Nur arbeiten sie oberhalb 6,2 V nicht mehr ordnungsgemäß. So empfiehlt es sich auch, bei Ableiten der oberen Referenzspannung – wenn ihr voller Bereich nötig ist – nicht von einer U_Z-Nennspannung von 6,2 V (oder gar 5,6 V) auszugehen, da das unter Umständen weniger als 6,2 V Realwert heißt. 6,8-V-Typen sind da günstiger. Dann läßt sich U_{rmax} wirklich bis auf 6,2 V einstellen. (Solche Änderungen gehörten zur Überarbeitungsphase der Leiterplatten, denn auch der Autor unterlag anfangs dem Mißverständnis bezüglich des Eingangsspannungsbereichs, das aus früheren Dateninformationen resultierte!)

Außer der im Bestückungsplan (Bild 8c) gewählten und in Bild 8e am Muster (im Unterschied zum anderen Vorschlag nach Bild 8d) demonstrierten Art der LED-Montage können an den Baustein nach Bild 8 extern selbstverständlich auch größere Leuchtdioden angeschlossen werden. Ein interessanter Vorschlag stammt auch aus dem Elektronikversand Wermsdorf. Dort wurden Ende 1982 die nicht mehr für Neuentwicklungen zugelassenen 9stelligen LED-Rechneranzeigen VQD 30 sehr preisgünstig angeboten. Kommt man mit 9 Stellen aus oder ergänzt die »Extreme« durch 3 Einzeldioden, so erhält man eine optisch ansprechende Anzeige nicht nur für diesen Baustein (s. Titelbild!). Dazu einige Präzisierungen, da es für Zeichnungen zu spät war: Auf der Leiter-Anschlußseite sind die 7 Segmente a bis g (alle 9 Stellen parallelgeschaltet) einzeln zugänglich sowie die »Digits«, das sind die Katoden dieser Leuchtdioden. Die Reihenfolge von links nach rechts: a – k1 – b – k2 – c – k3 – d – k4 – k5 – k6 – e – k7 – h – k8 – k9 – f – g. Segment h ist der Dezimalpunkt zu jedem »Digit«. k1 bis k9 schließt man an die einzelnen Ausgänge des A 277 D in der gewünschten Reihenfolge an. Von den Segmenten erwiesen sich a und d als günstig. Sie werden gemeinsam an Plus gelegt, denn es sind ja Anoden. Ein in den Rahmen der durchsichtigen Abdeckung eingelegter und mit Tusche oder Abreibeziffern beschrifteter Transparentstreifen bildet wenigstens in einem Betrachtungswinkel von 60 ° ringsum die gerade aktive Stelle als roten Kreis ab. Bei Zwischenwerten leuchten die beiden benachbarten Kreise. Der Autor versichert, daß das recht wirkungsvoll aussieht – wenn nicht gerade die Sonne daraufscheint.

Daß dieses »Streichholzschachtel«-Thermometer lediglich eine Leitung zum Klingeltransformator benötigt, macht es besonders anwenderfreundlich. Auf dem »typofix«-Blatt konnten 2 Leiterbilder untergebracht werden, was der Nutzer sicherlich begrüßen wird.

Abgleichempfehlung (sofern 68-kΩ-Heißleiter vorhanden, sonst entsprechende Datenkorrektur!):
- Etwa 50 μA Fühlerstrom einstellen.
- U_{rmin} auf etwa 2,2 V, U_{rmax} auf etwa 4,2 V stellen.
- Fühler und genaues Thermometer gleicher Temperatur aussetzen und Skale kontrollieren.

– Gegebenenfalls Grenzwerte an den U_r-Stellern bzw. eine mittlere Temperatur am Strompotentiometer korrigieren.
– Abgleichkontrolle wechselweise wiederholen.
– Dieses Thermometer ist kein Präzisionsmeßgerät!

12.2. Leiterplatte zu Bild 9

Die Verknüpfung mit dem Signalteil auf der einen und der Wunsch, die Platte auch für »normale« Anwendungen in Punktbetrieb nutzen zu können, auf der anderen Seite brachte im Leiterbild etwas Verwirrung. Für den Nutzer wäre es sicherlich nicht so günstig gewesen, wenn der eine Extremwert bei der vorletzten LED läge. Daher wurde es beim Korrigieren etwas knapp an dieser Stelle. Weiterhin beachte man dies:
– Bei B 555 D-Betrieb 100-kΩ-Helligkeitspotentiometer nicht einsetzen – und sonst nur zusammen mit Fotowiderstand!
– Ebenso die beiden gestrichelten waagerecht liegenden Brücken weglassen!
– Dafür die senkrecht liegende kurze Brücke in der Nähe des B 555 D nicht vergessen sowie die lange waagerechte Brücke!
– Bei Normalbetrieb eben genannte kurze senkrecht liegende und lange waagerechte Brücke nicht bestücken!
– Dafür jetzt die beiden gestrichelten waagerecht liegenden Brücken einsetzen!
In die Dimensionierung des Referenzspannungsteils wurde sowohl der bei Abschnitt 12.1. genannte Hinweis eingebracht (6,8-V-Z-Diode) als auch eine Änderung bezüglich des U_{rmin}-Stellers und seines Vorwiderstands. Ursprünglich hatten beide den Wert 22 kΩ. Dabei kam jedoch die erforderliche Spannungsdifferenz nicht ganz zustande, auf Grund derer das Signal selbst bei kurzgeschlossenen Heißleiteranschlüssen noch »zu hohe Temperatur« meldet. 8,2 kΩ Vorwiderstand und ein Stellpotentiometer von 10 kΩ brachten die gewünschten Bedingungen.

Schließlich bot es sich an, mit einem Elektrolytkondensator von 470 µF/16 V und einer 1-A-Diode die Baugruppe ebenfalls unmittelbar »klingeltransformatortauglich« zu machen. Das möge aber jeder interessierte Leser selbst tun. Es ist nicht schwierig, besonders dann nicht, wenn das Helligkeitspotentiometer nicht eingesetzt wird. Es erfordert allenfalls etwas »3-D-Verdrahtung«. Wer das von vornherein beabsichtigt, kann sein »typofix«-Bild auf der Halbzeugplatte schon modifizieren, z. B. um isolierte Stützpunkte für die beiden Bauelemente vorzubereiten. Anderenfalls kann man Kondensator und Diode auch in oder an den Klingeltransformator legen. Dieses Leiterbild ist auf dem »typofix«-Blatt einmal enthalten.

12.3. Leiterplatte zu Bild 18

Alle generellen Hinweise (Helligkeitspotentiometer nur mit Fotowiderstand sinnvoll; Nachrüsten von Elektrolytkondensator und Gleichrichter, Z-Diode für U_r-Teiler 6,8 V) gelten auch hier. Diese für Bandbetrieb entworfene und vorrangig als Aussteueranzeige gedachte Leiterplatte hat freie Flächen, in die man eine andere beliebige Steuerschaltung einbringen kann. (Andeutung bezüglich einreibbarer Lötaugen siehe Bestückungsplan!) Die Anschlüsse der Referenz- und Steuereingänge sind dazu wahlweise frei zugänglich. In der Hauptanwendung lötet man die entsprechend zusammengebogenen Lötösen aneinander oder bringt von vornherein leiterseitig Lötbrücken an bzw. reibt schon »typofix«-Brücken auf. In Verbindung mit Abschnitt 12.4. empfiehlt es sich, den Kondensator am Steuereingang wegzulassen oder den dort genannten Dämpfungswiderstand zwischen Verstärkerausgang und A 277 D-Eingang einzufügen.

Von der Struktur des »typofix«-Blattes her war es leider nicht möglich, die für den Einsatzfall »Stereo-Aussteueranzeige« benötigten 2 Leiterbilder unterzubringen. Wer dieses Vorhaben ausführen will, braucht daher das »typofix«-Blatt 2mal.

12.4. Leiterplatte zu Bild 19

Die Problematik des Abgleichs in Verbindung mit diesem Verstärker wurde bereits kurz angesprochen – der Erfolg rechtfertigt die Mühe. Die Baugruppe »spielt« z. B. mit der nach Bild 18 zusammen. Eine Schwingerscheinung (etwa 1 MHz, 100 mV Sägezahn) bei Verbinden des Ausgangs mit dem Eingang 17 im A 277 D, die zu einer kleineren »Ausgangsspannung« führte (z. B. 4,95 V statt 5,33 V!), ließ sich mit einem Widerstand zwischen OPV-Ausgang und Anschluß 17 beheben (10 Ω genügten schon), oder man entfernt den Kondensator am Eingang 17.

Nach Offsetabgleich auf 0,00 V Ausgangsspannung (Kurzschluß des Eingangs gemäß Bild 19a) wird in Verbindung mit der Baugruppe nach Bild 18 z. B. so abgeglichen:
– Etwa 10 mA Fühlerstrom einstellen.
– Verstärkerpotentiometer auf Mitte.
– Referenzspannungen auf (etwa) 4,95 und 6,2 V einstellen.
– Fühler zusammen mit Vergleichsthermometer auf eine Temperatur an der oberen gewünschten Bereichsgrenze bringen (z. B. im Wasserbad).
– V-Potentiometer gerade so einstellen, daß bis einschließlich der höchstwertigen Diode alle leuchten.
– Temperatur an Untergrenze des Bereichs »bereitstellen«.
– U_{rmin}-Potentiometer so weit korrigieren, daß gerade unterste Leuchtdiode leuchtet.
– Bei Bedarf Abgleich wiederholen oder auf den wichtigsten Teilbereich hin optimieren.
Die Verstärkerleiterplatte ist auf dem »typofix«-Blatt einmal enthalten. Zum Kupferdrahtfühler: Etwa 4 m 0,09-mm-Cu-Draht mehrmals in der Mitte zusammenlegen. Bei 50 cm Gesamtlänge dieses »Seil« um die Enden der bereits vorverzinnten dünneren 4drähtigen Zuleitung (mehrfarbig zur Unterscheidung, je 2 zusammenlöten) wickeln, und Drahtenden möglichst entspannt anlöten. Etwa erbsengroßes Stück Suralinmasse dünn ausformen, und vorsichtig den Meßkopf umkleiden. (Oder: Meßkopf mit Silikonkautschuk, z. B. Cenusil, umhüllen.) Anschließend z. B. am Lötkolbenschaft thermisch aushärten (Suralin).

13. Literatur

Ausführliche Informationen auch zu einigen interessanten Spezialverknüpfungen (Kaskadieren bis zu 5 × A 277 D z. B.!) wurden von den Entwicklern des A 277 D in der Zeitschrift »radio fernsehen elektronik« veröffentlicht [1], [5], [6]. Zum Problem logarithmischer Verstärker (für entsprechende Aussteueranzeiger) findet man in [3] und [4] Anregungen.

[1] *Dahms, D.; Elschner, H.; Rödig, C.:* LED-Ansteuerschaltkreis A 277 D. radio fernsehen elektronik 30 (1981) H. 10, S. 615–618
[2] *Schlenzig, K.:* Digitale Zeitschaltkreise E 351 D und D 355 D. Reihe: electronica, Bd. 205/206, Militärverlag der DDR, Berlin 1983
[3] *Kühnel, C.:* Lineare und nichtlineare Analogschaltungen mit OPV. Reihe: electronica, Bd. 199, Militärverlag der DDR, Berlin 1982
[4] *Jakubaschk, H.:* Elektronikschaltungen mit dem Operationsverstärker A 109. Reihe: electronica, Bd. 182, Militärverlag der DDR, Berlin 1980
[5] *Dahms, D.; Elschner, H.; Rödig, C.:* Anwendungen der IS A 277 D. radio fernsehen elektronik 30 (1981) H. 12, S. 757–759, 776
[6] *Dahms, D.; Elschner, H.; Rödig, C.:* Spezielle Anwendungen der IS A 277 D. radio fernsehen elektronik 31 (1982) H. 3, S. 174–176
[7] *Göhler, K.-H.:* Anwendung der A 277 D im Zeitmultiplexbetrieb. radio fernsehen elektronik 31 (1982) H. 8, S 521–522
[8] *Jakubaschk, H.:* Kraftfahrzeug-Drehzahlmesser mit Leuchtbandanzeige. radio fernsehen elektronik 31 (1982) H. 3, S. 177–179
[9] *Dahms, D.:* Diskussion: Kfz-Drehzahlmesser. radio fernsehen elektronik 31 (1982) H. 8, S. 524 (bezieht sich auf [8])

Tabelle 1 Grenz- und Betriebswerte für A 277 D

Betriebsspannungsbereich	
Punktbetrieb U_S	5,5 ... 18 V
Bandbetrieb U_S	10,5 ... 18 V
(die untere Grenze wird bei Bandbetrieb durch die LED-Flußspannungen bestimmt und gilt hier für 1,5 V)	
erlaubter Bereich der Eingangsspannungen U_3, U_{16}, U_{17}	0 ... U_S
Arbeitsbereich der Eingangsspannungen U_3, U_{16}, U_{17}	0 ... 6,2 V
für $U_S \leqq 9$ V sind folgende Bedingungen einzuhalten	$U_3 \leqq U_S - 3$ V
	$U_{17} \leqq U_S - 3$ V
Betriebstemperaturbereich	− 25 ... + 85 °C
Referenzspannungsdifferenz $U_3 - U_{16}$	
Punktbetrieb	1,4 ... 6,2 V
Bandbetrieb	1,2 ... 6,2 V
Umschaltspannung für Band-Punkt-Kennung $U_{15} - U_{14}$	
Arbeitsweise Punktbetrieb	$\leqq$ 0,9 V
Arbeitsweise Bandbetrieb	$\geqq$ 1,3 V

Tabelle 2 Kennwerte für A 277 D bei U_S = 12 V, ϑ_a = 25 °C

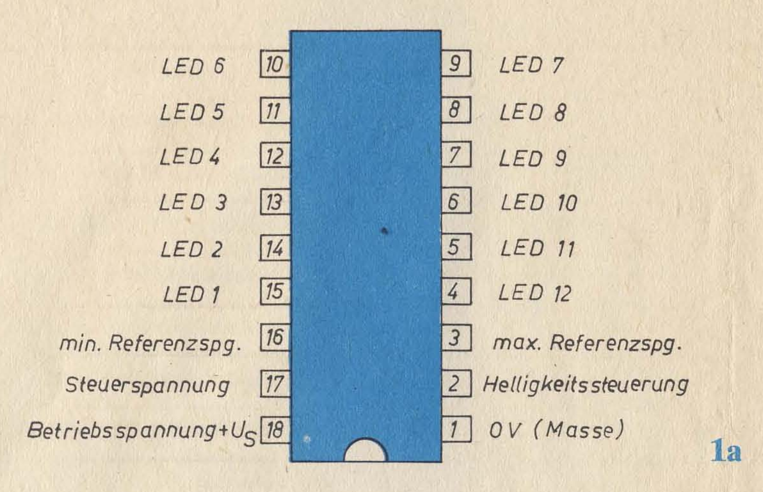
	max.	typ
Stromaufnahme ohne LED-I_S	10 mA	4,5 mA
Eingangströme		
I_3, I_{17}	2 µA	6 nA
I_{16}	2 µA	100 nA
Treiberreststrom (Dunkelstrom der LED)	50 µA	

Tabelle 3 Widerstandswerte von Kupferdrähten

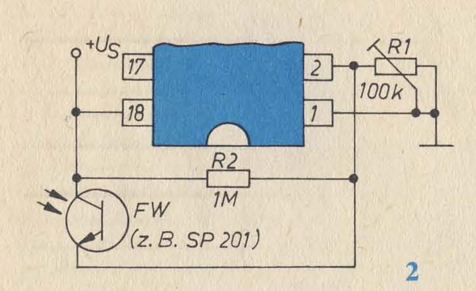
Durchmesser des blanken Drahtes mm	Widerstand bei 20 °C je m Ω
0,03	24,8
0,05	8,95
0,06	6,18
0,07	4,55
0,08	3,50
0,09	2,75
0,10	2,23
0,12	1,55
0,14	1,14

1. Auflage 1983 · © Militärverlag der Deutschen Demokratischen Republik (VEB) – Berlin, 1983 · Lizenz-Nr. 5
Printed in the German Democratic Republic · Gesamtherstellung: Grafischer Großbetrieb Sachsendruck Plauen
Lektor: Rainer Erlekampf · Typografie: Helmut Herrmann · Redaktionsschluß: 20. Januar 1983 · LSV: 3539 · Bestellnummer: 746 473 4 · DDR 1,– M

Bild 1
A 277 D: a – Anschlußbelegung, b – Übersichtsdarstellung der Innenschaltung



1a



2

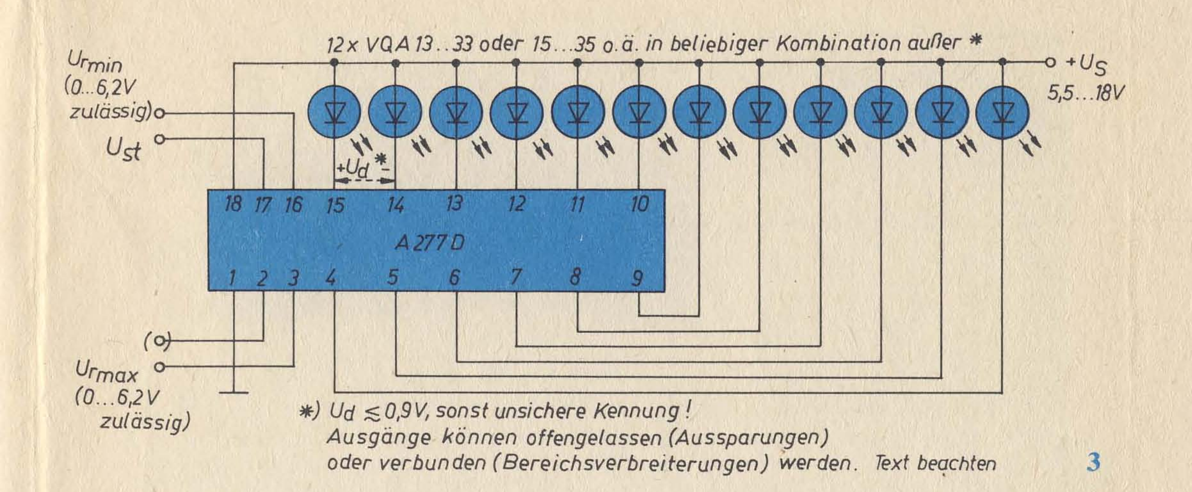
Bild 2
Das Beschalten von Anschluß 2 im gezeigten Sinne führt zur Anpassung der Ausgangsströme an die Umgebungshelligkeit: Je heller die Umgebung, um so heller (bis $I_{max} \approx 20$ mA) auch die Leuchtdioden. Abgleich an R1 möglich. Statt über Fotowiderstand kann auch nur über R1 von Hand eingestellt werden (FW und R2 dann nicht eingesetzt)

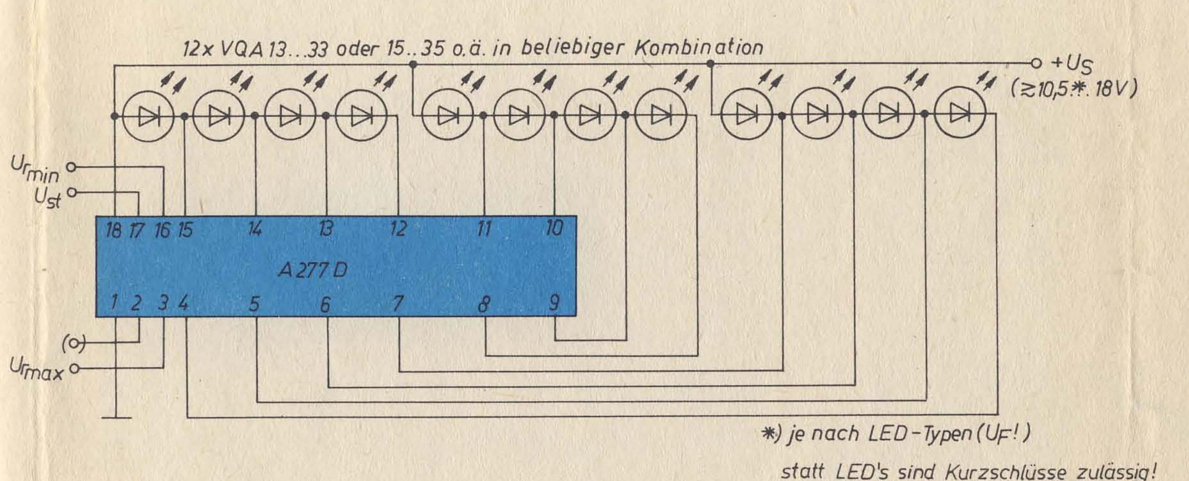
1b

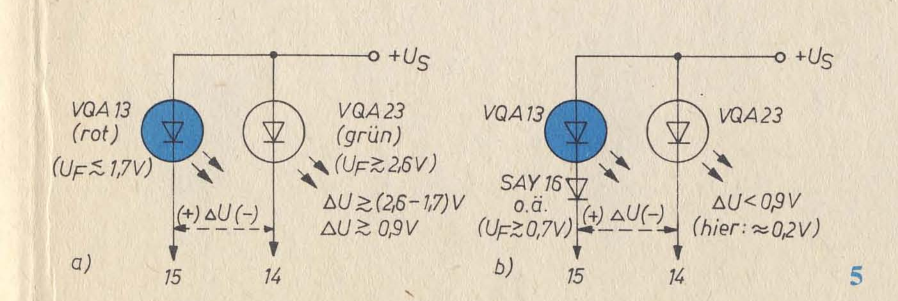
Bild 3
Einfachste Grundschaltung für Punktbetrieb. U_{rmin} darf bis 0 V gewählt werden. Schaltung eignet sich z. B. zum Ansteuern mit Widerstandsgeber, der ebenfalls an der Betriebsspannung liegt

Bild 4
Grundbeschaltung für Bandbetrieb

Bild 5
Einwandfreie Band-Punkt-Kennung erfordert in solchem Falle (a) eine Korrekturdiode (b)







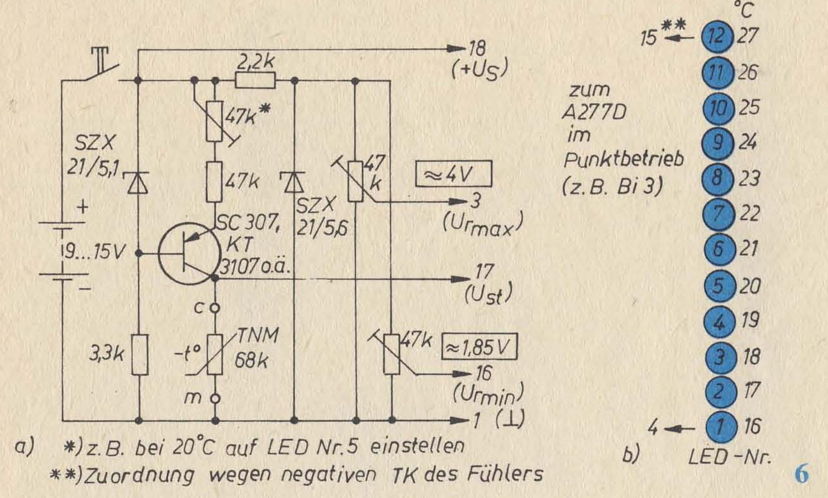


Bild 6
Batteriegespeistes Steuerteil für A 277 D im Punktbetrieb zur Abfrage von Zimmertemperaturen:
a – Stromlaufplan,
b – Grobskale für die Anzeige

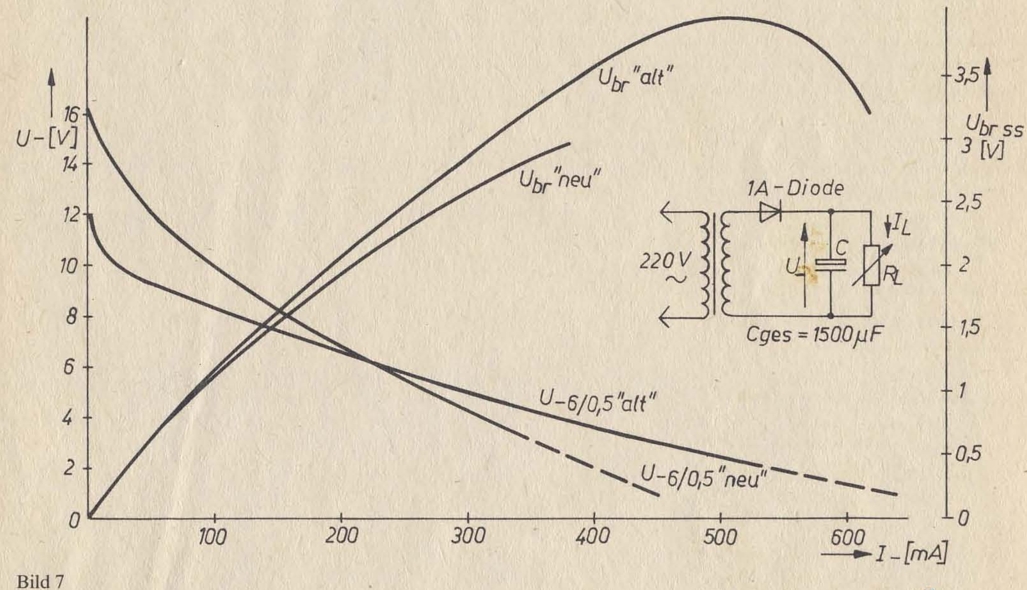
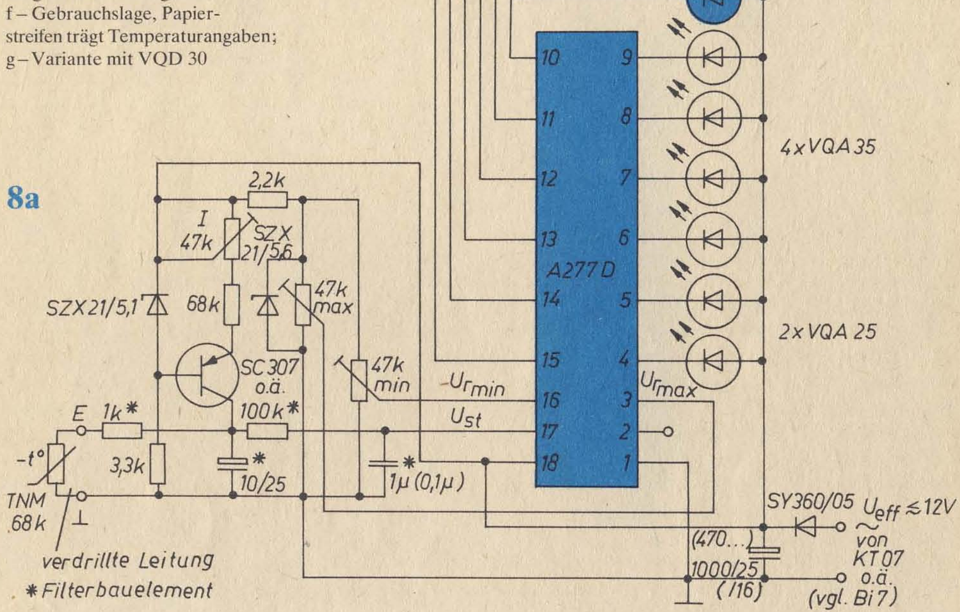
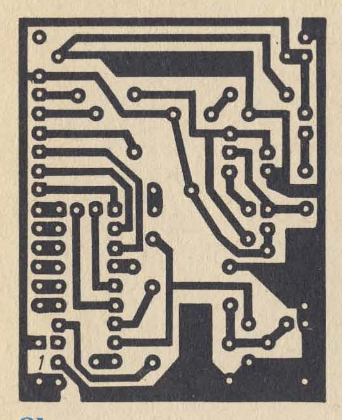


Bild 7
Belastungskurven eines KT 07-Klingeltransformators älterer und neuerer Ausführung bei Netznennspannung (220 V) hinter 1-Weg-Gleichrichter

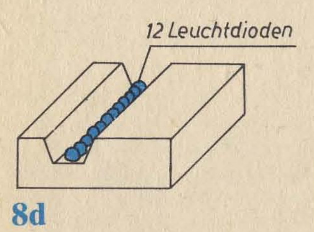
Bild 8
Vollständiges Heißleiter-Zimmerthermometer mit externer Speisung aus einem 0,5-A-Klingeltransformator. Die Notwendigkeit der Filterbauelemente 1 kΩ, 100 kΩ, 1 µF (0,1 µF), 10 µF richtet sich nach dem Einsatzfall. a – Stromlaufplan, b – Leiterbild, c – Bestückungsplan, d – aufwendige Gehäusegestaltung bei sonst üblicher Montage der Leuchtdioden, e – bestückte Musterleiterplatte (endgültig s. Bild 8c!) mit Leuchtdioden in Kantenrichtung im Größenvergleich; f – Gebrauchslage, Papierstreifen trägt Temperaturangaben; g – Variante mit VQD 30



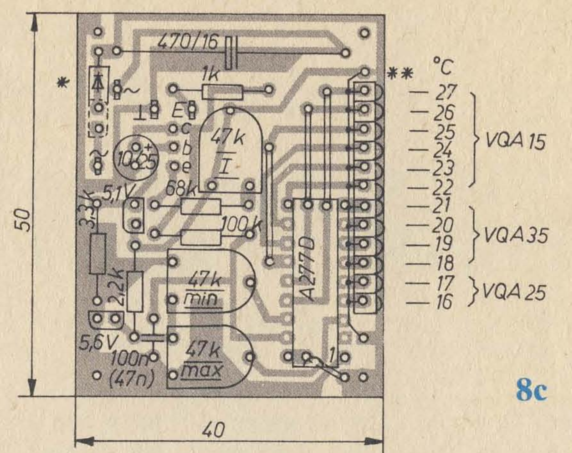
8a



8b



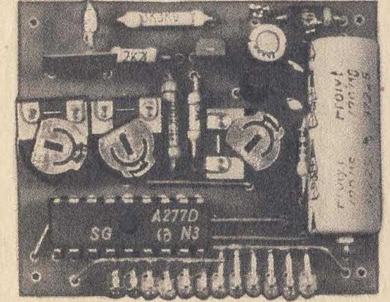
8d



8c

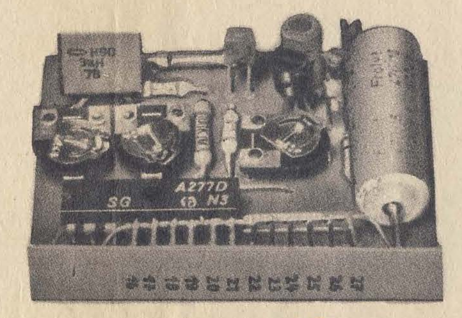
*) wahlweise SY 360/05 oder SAY 12
**) Leuchtdiodeneinbau: Anoden durch Draht mit ⊕ verbinden; Katoden in Leiterplatte löten
VQA 15
VQA 25
VQA 35

8g

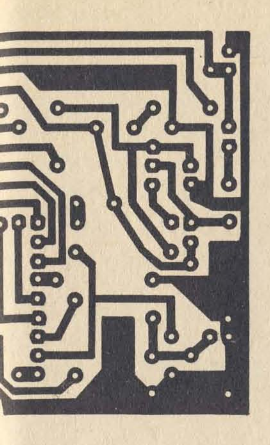


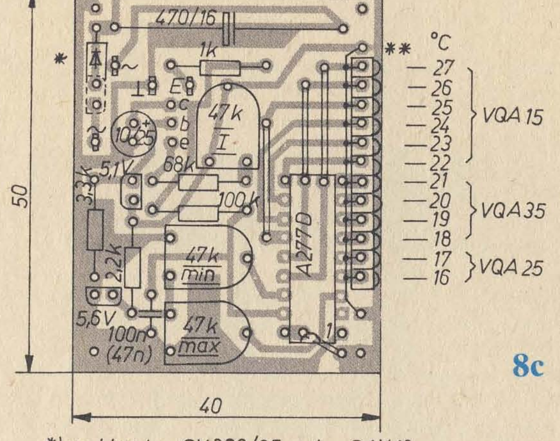
8e





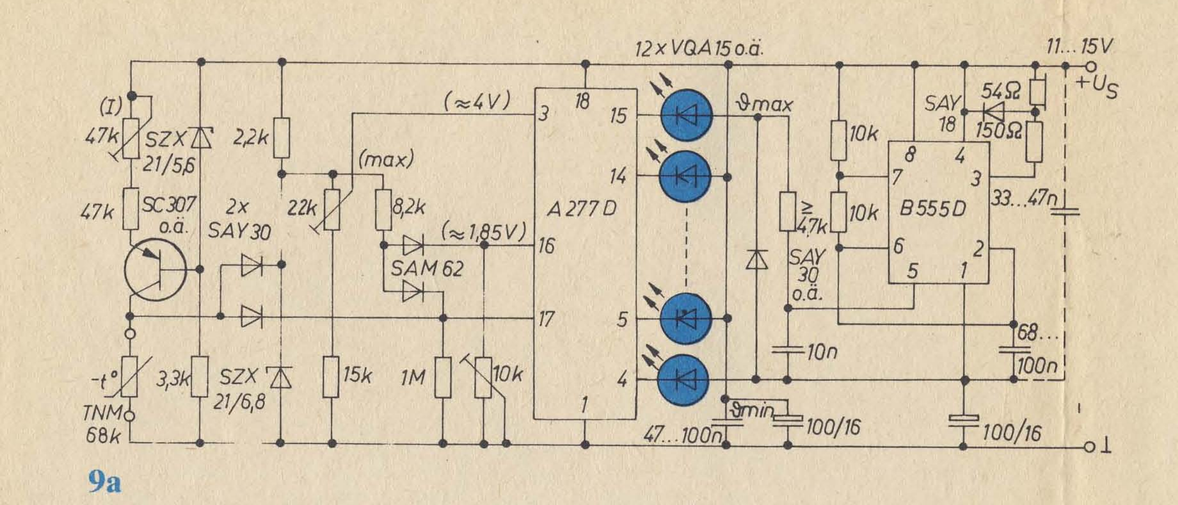
8f



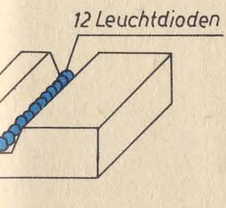


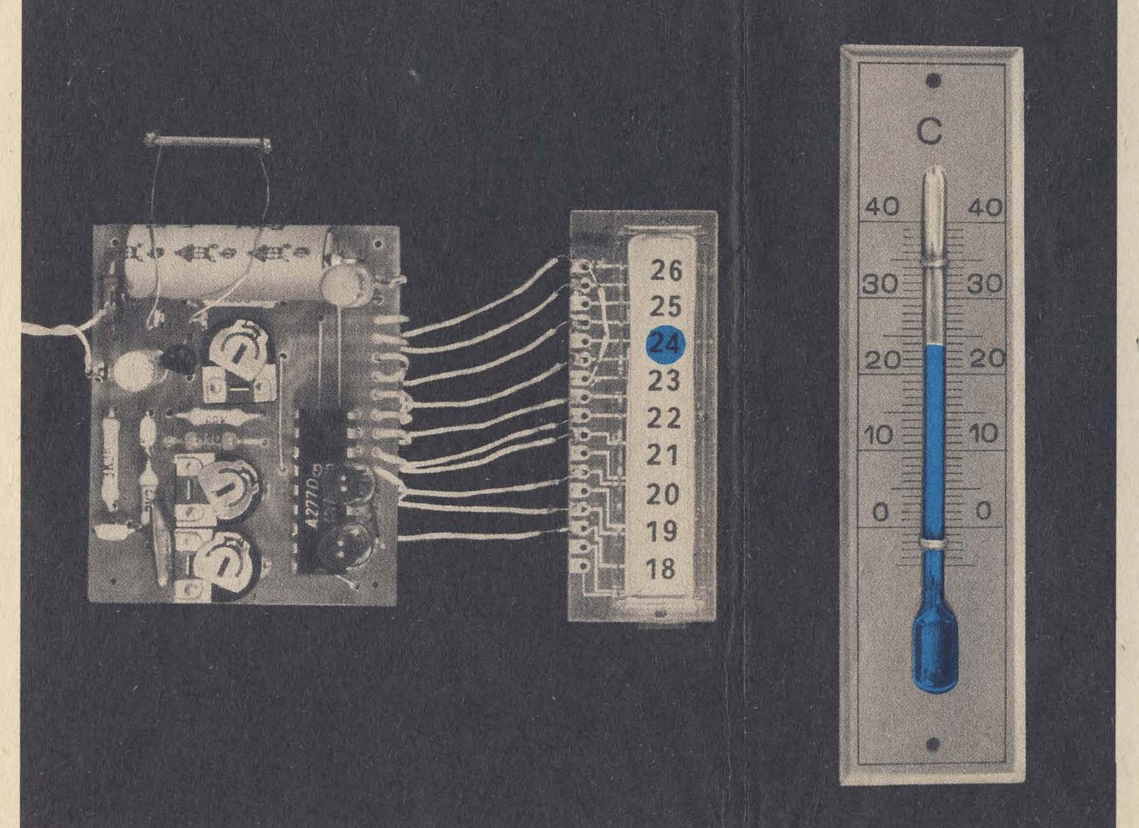
8c

*) wahlweise SY 360/05 oder SAY 12
**) Leuchtdiodeneinbau: Anoden durch Draht mit ⊕ verbinden
VQA 15
VQA 25
VQA 35
Katoden in Leiterplatte löten

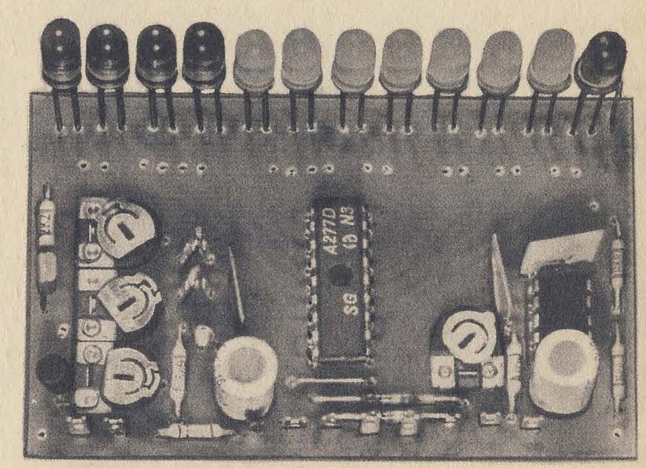


9a

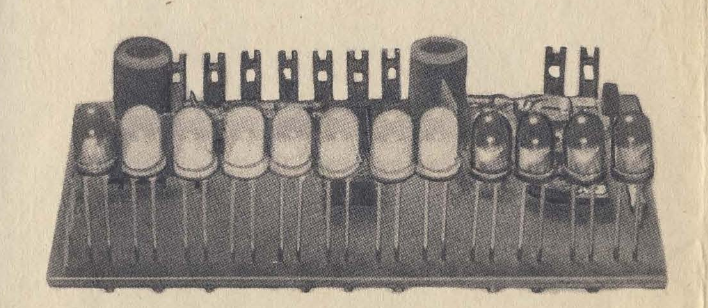




8g



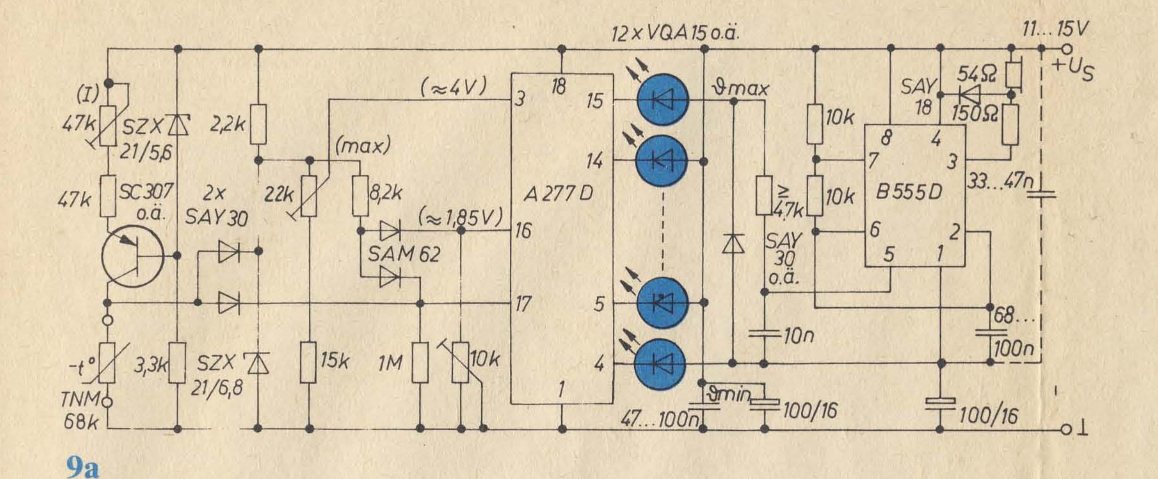
9d



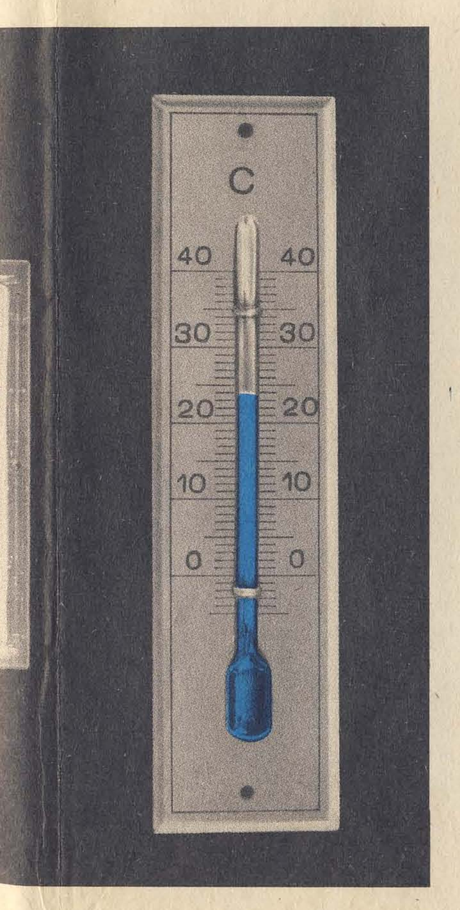
9e

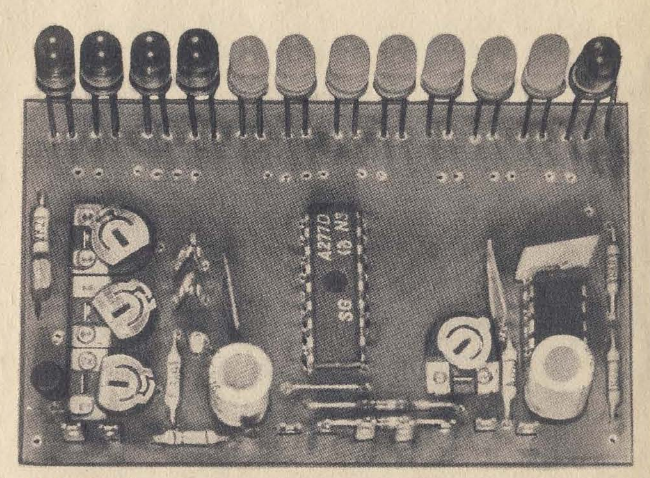


8f

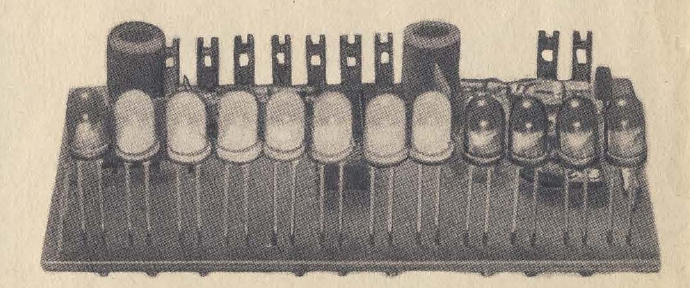


9a



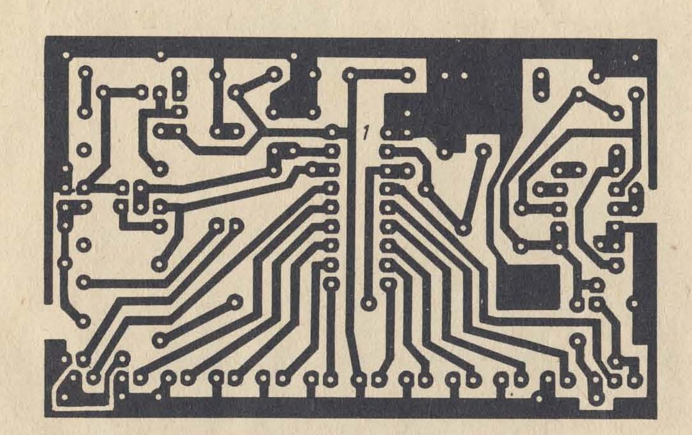


9d

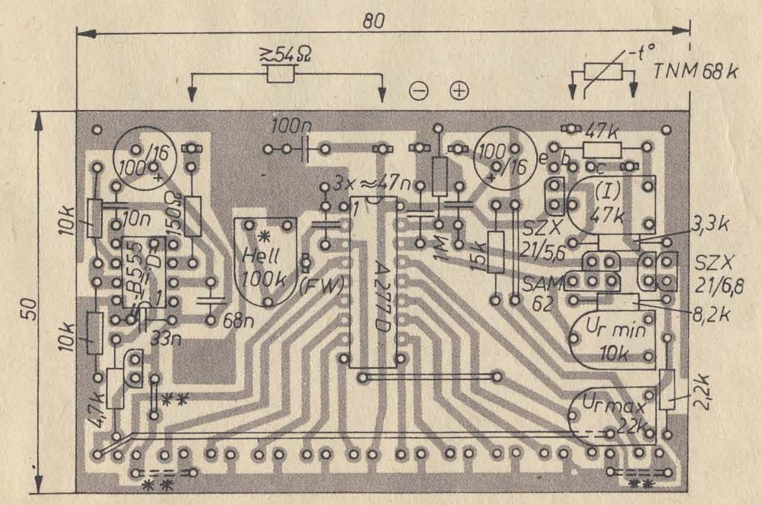


9e

Bild 9
Zimmertemperaturüberwachung mit optischer Anzeige in 12 Stufen und »geklemmter« akustischer Grenzwert-Information (tiefer Ton bei zu niedriger, hoher Ton bei zu hoher Temperatur):
a – Stromlaufplan, b – Leiterbild, c – Bestückungsplan, d – Muster in Gebrauchslage (endgültig s. Bild 9c), e – Seitenansicht



9b



Leuchtdioden wie bei Bi. 18 c !

*) bei B555 D-Einsatz nicht bestücken

**) Brücke, wenn Normalbetrieb (ohne B555 D) -dann ohne  **

9c

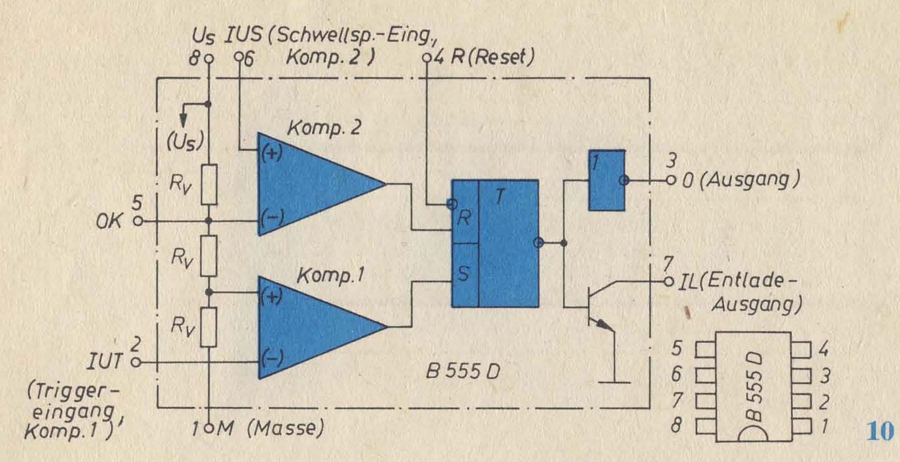
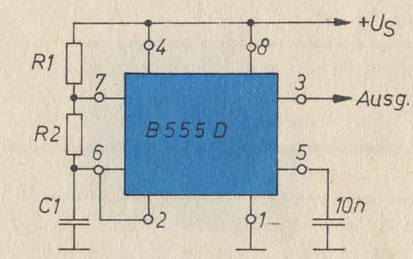


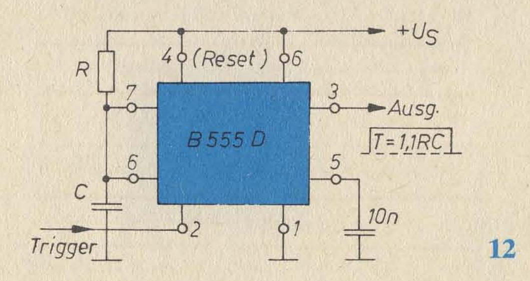
Bild 10
Innenschaltung und Anschlußbelegung des Timer-Schaltkreises B 555 D

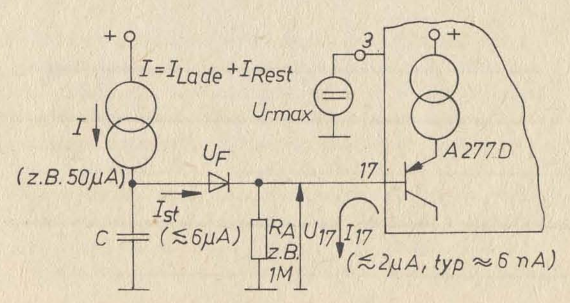
Bild 11
B 555 D im astabilen Modus, wie er in Bild 9 genutzt wird

Bild 12
B 555 D als monostabiler Multivibrator

Bild 13
Lineare Aufladung des zeitbestimmenden Kondensators im Kurzzeitsignalgeber und Störgrößen







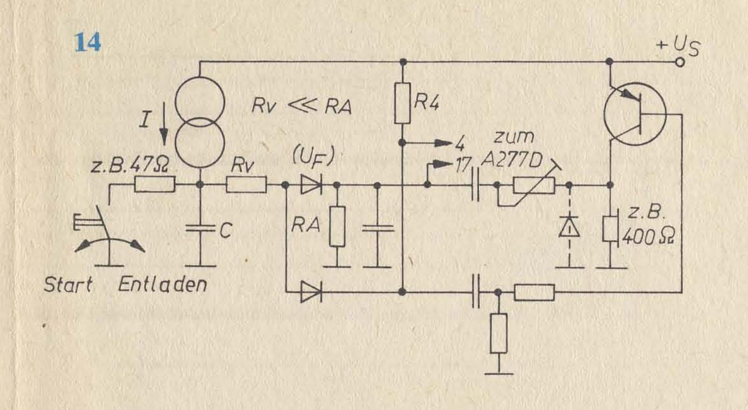
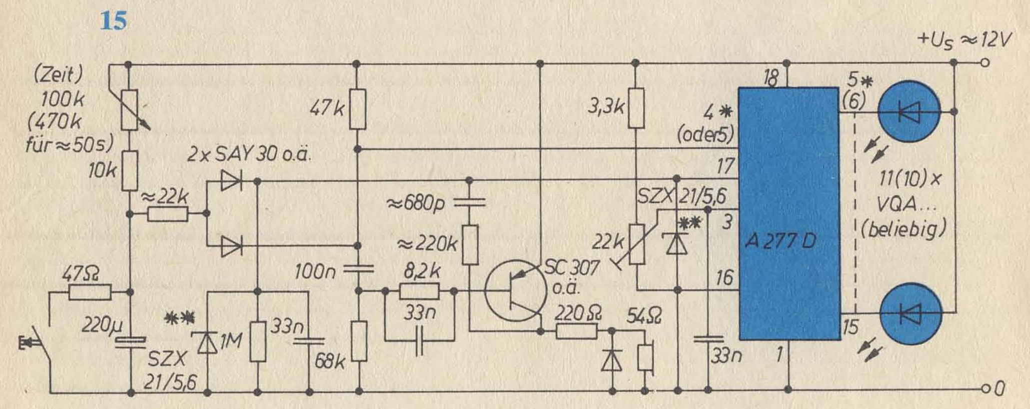
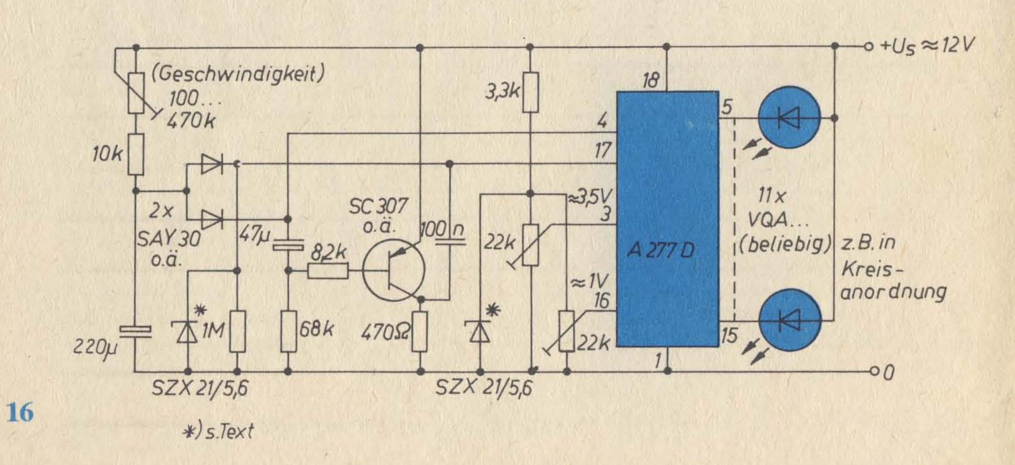


Bild 14
Selbsterregungsschaltung für den A 277 D bei Aktivierung des zugeordneten Ausgangs (hier 4) über die Steuerspannung

Bild 15
Kurzzeit-Timer mit Signalton, Anzeige der Teilzeiten von je etwa 10 %

Bild 16
Rotierender Leuchtpunkt (Grundbeschaltung direkt mit Leuchtdioden)





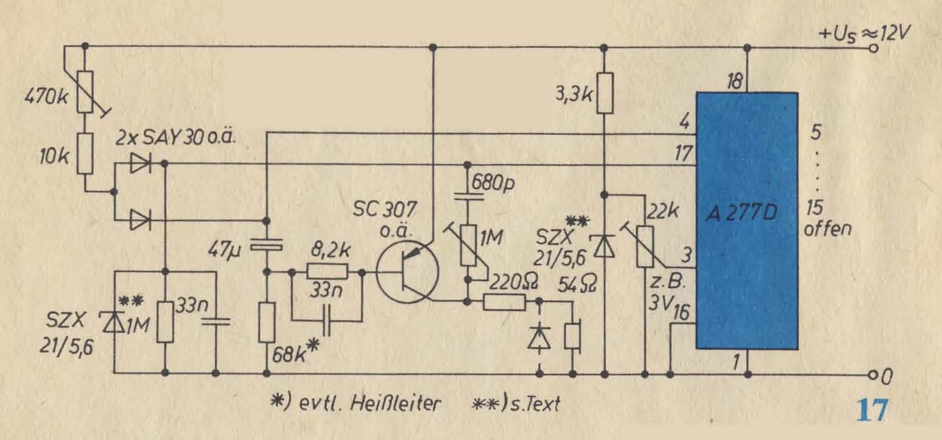


Bild 17
Mit dieser Schaltung können Vogelstimmen erzeugt werden

18a

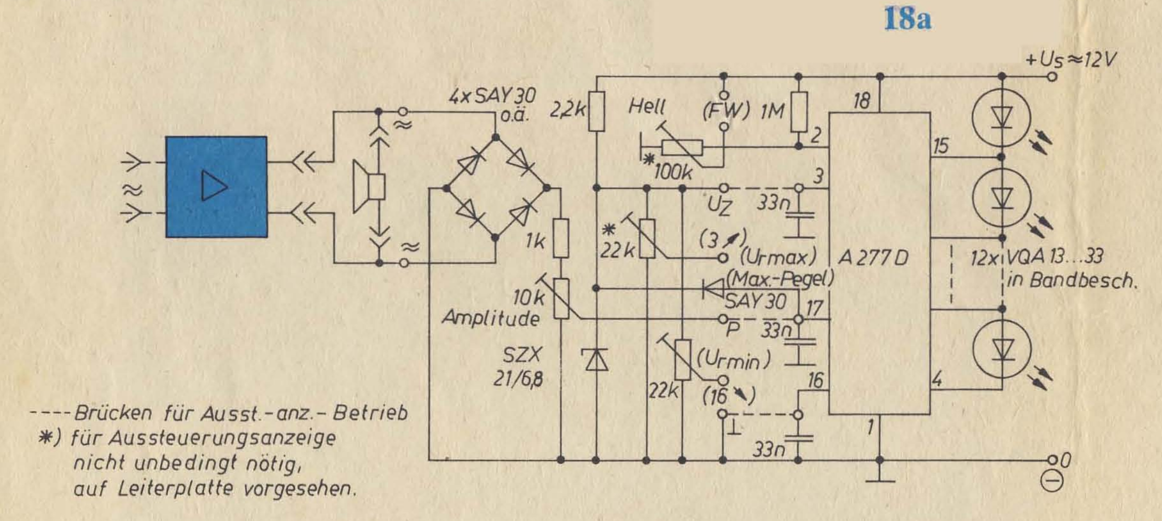
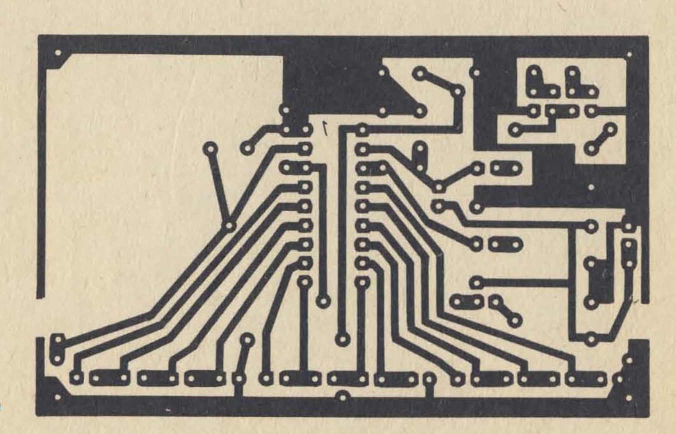
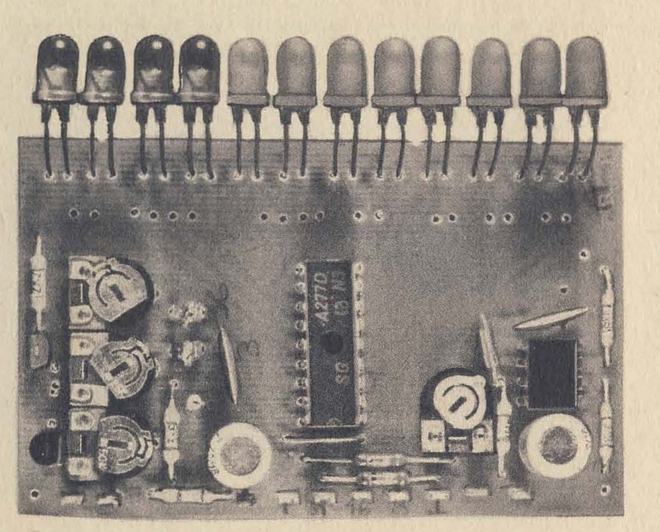


Bild 18
Aussteuer-Kontroll-Anzeige im Bandbetrieb mit einer für Anschluß an Endstufen geeigneten Eingangsschaltung:
a – Stromlaufplan, b – Leiterbild, c – Bestückungsplan für Anordnung der Leuchtdioden an der Plattenkante, d – Ansicht einer Musterplatte mit abgewinkelten Leuchtdioden (sonstige Bestückung abweichend)

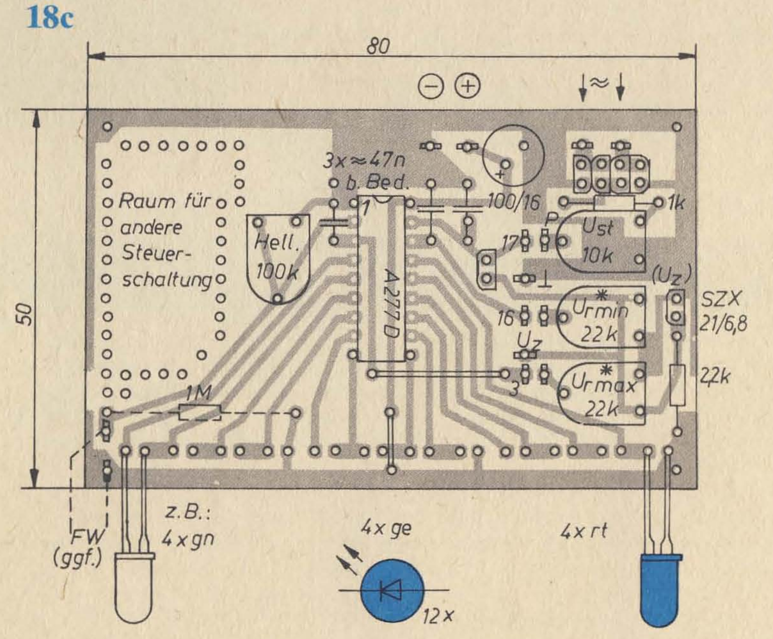


18b

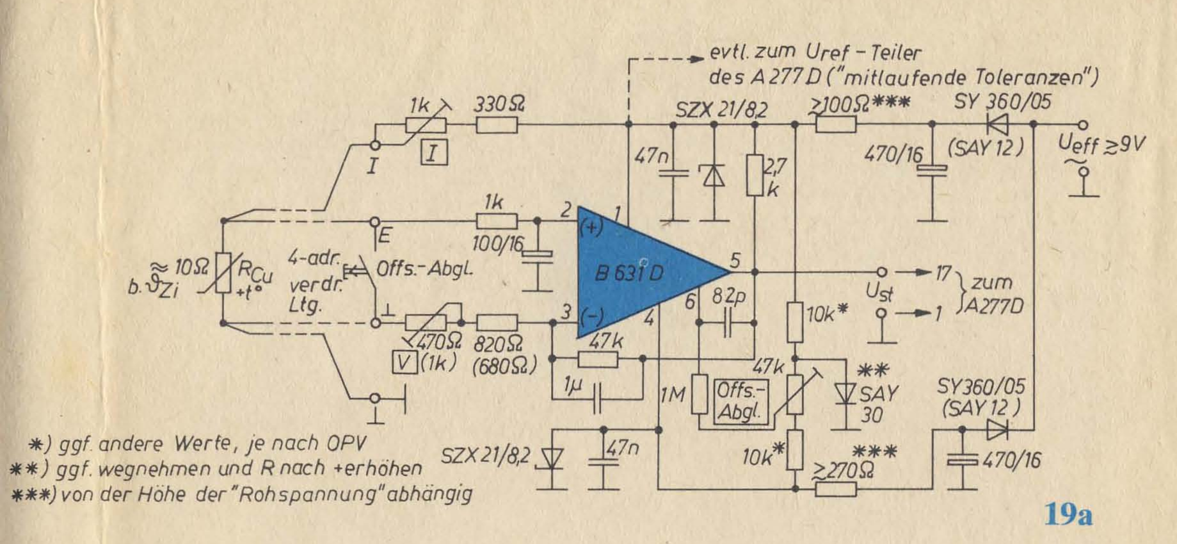


18d

18c

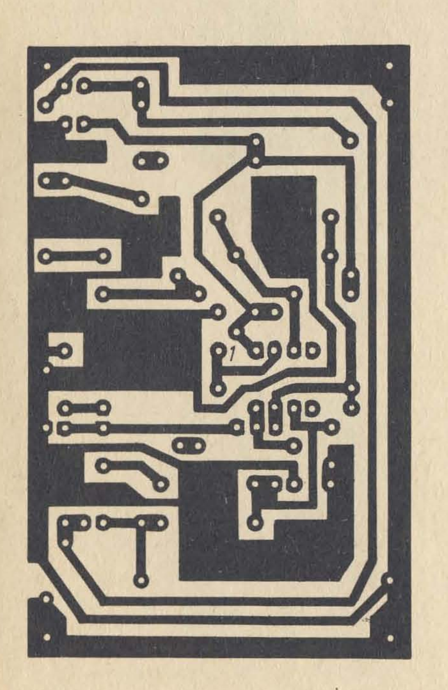


*) ggf. a
**) ggf. w
***) von d

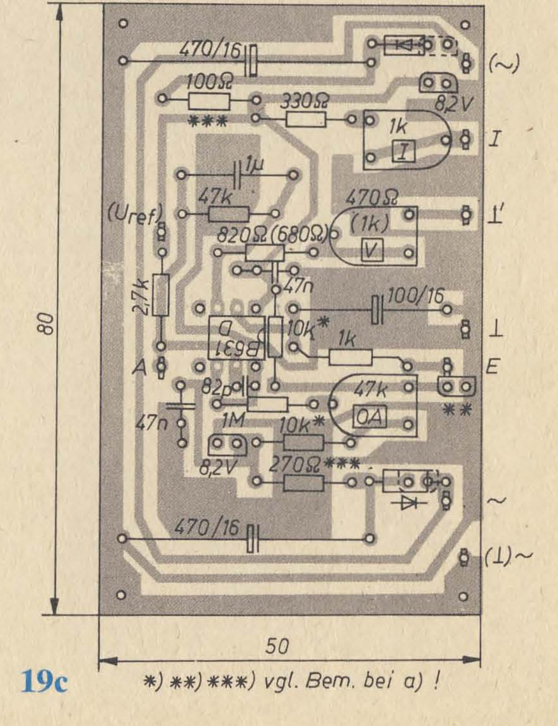


19a

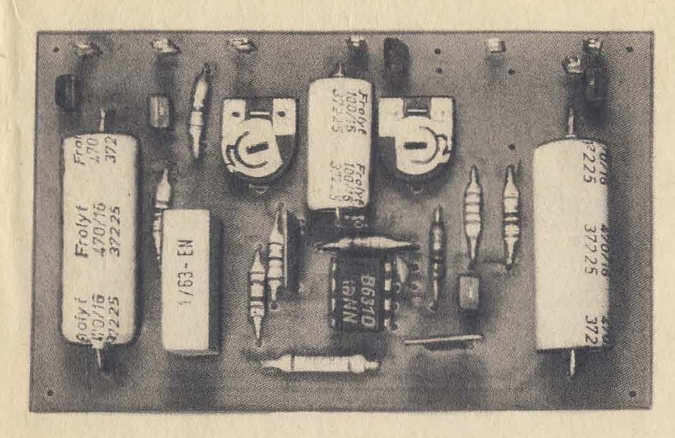
Bild 19
Linearer Temperaturmeßmodul mit Einbezug des Fühler-Grundwerts: a – Stromlaufplan, b – Leiterbild, c – Bestückungsplan, d – Musterbaugruppe (endgültig s. Bild 19c)



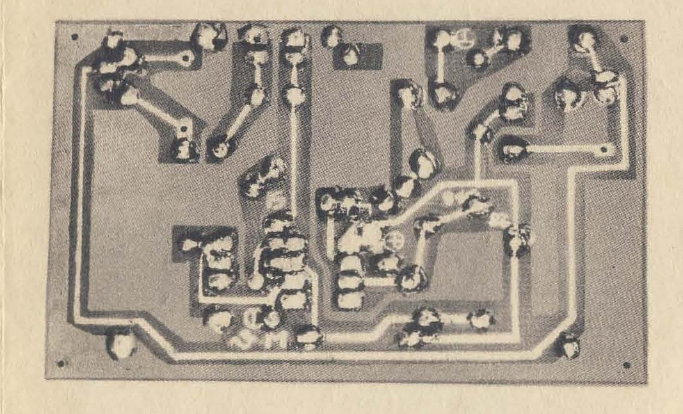
19b

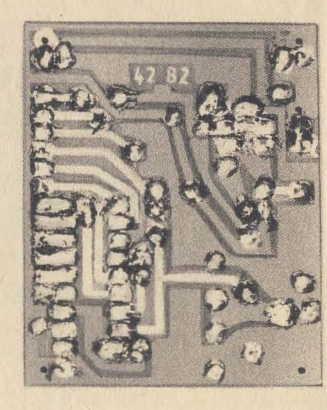


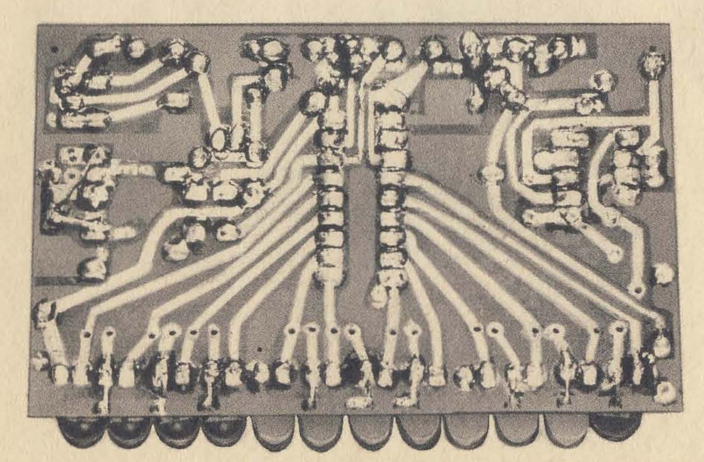
19c



19d







20

Bild 20
Leiterseiten der aus »typofix«-Stücken früherer Baupläne gestalteten Musterbaugruppen zu Bild 8, Bild 9 und Bild 19